

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE
Faculté de génie
Département de génie civil

ÉTUDE DU POTENTIEL DU CHITOSANE DANS LE TRAITEMENT DES EAUX USÉES
PAR LE RÉACTEUR BIOLOGIQUE SÉQUENTIEL

Mémoire de maîtrise es sciences appliquées
Spécialité: génie de l'environnement

TANJA BALJIC ZELOVIC

Sherbrooke (Québec), CANADA

Octobre, 2000



Library and
Archives Canada

Bibliothèque et
Archives Canada

Published Heritage
Branch

Direction du
Patrimoine de l'édition

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence

ISBN: 978-0-494-31349-7

Our file Notre référence

ISBN: 978-0-494-31349-7

NOTICE:

The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

The author retains copyright ownership and moral rights in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

AVIS:

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.


Canada

RÉSUMÉ

Ce mémoire étudie la possibilité d'utilisation d'un polymère d'origine biologique, soit le chitosane pour l'amélioration de la décantation de la boue activée dans un réacteur biologique séquentiel (RBS), ce qui permettrait par la suite une efficacité accrue du procédé. Étant donné que la boue activée, une fois floculée par le polymère, peut influencer l'enlèvement de la matière organique, les impacts du chitosane sur la biodégradation dans le RBS sont aussi étudiés.

Dans ce but on a poursuivi la réalisation d'essais dans un RBS en laboratoire. De plus, on a réalisé des essais dans des cylindres gradués afin d'établir la relation entre les paramètres de décantation, tels que la vitesse de décantation et l'indice volumique de la boue, et la concentration de chitosane.

Les résultats montrent que le chitosane possède un bon potentiel pour améliorer les propriétés de décantation dans le RBS, ce qui est probablement le résultat de son interaction avec les polymères extracellulaires sécrétés sur la surface bactérienne. Il augmente la vitesse de décantation et réduit l'indice volumique de la boue. Les effets positifs sur l'épaississement sont aussi observés par la diminution du volume de la boue décantée après 45 minutes de décantation. Pourtant ces effets positifs sont temporaires et ils disparaissent au cours des cycles suivants.

L'efficacité du chitosane peut dépendre de plusieurs facteurs qui doivent être étudiés davantage dans le futur. Premièrement elle dépend de l'âge de la boue, qui à son tour altère la quantité des biopolymères dans la boue activée qui peuvent réagir avec le polymère organique ajouté. Deuxièmement, l'intensité et le type de mélange dans le RBS exercent probablement une influence importante sur la capacité du chitosane. Ils peuvent causer la redispersion du floc et ensuite, une augmentation des MES dans l'effluent.

L'augmentation des MES dans l'effluent est toujours observée lors des cycles après l'ajout du chitosane. Plusieurs explications sont postulées pour expliquer ce phénomène. Une analyse du mécanisme de la floculation par le chitosane, de sa concentration optimale et des conditions

optimales sera nécessaire en raison de la possibilité de détérioration la qualité de l'effluent par une augmentation des MES.

Le chitosane s'est montré très efficace pour la floculation de la boue activée en état de gonflement. L'addition de chitosane dans ce cas apporte une amélioration rapide des propriétés de décantation. Ainsi, le chitosane peut être un produit efficace pour empêcher la perte de la biomasse qui se produit souvent dans les stations à boue activée.

En ce qui concerne le traitement biologique dans le RBS, il semble que le chitosane n'affecte pas l'enlèvement de la matière carbonée probablement parce que la quantité ajoutée est faible. Pourtant les concentrations du phosphore total et des orthophosphates augmentent faiblement au cours des cycles suivant l'ajout de chitosane. Une faible augmentation de l'azote organique est aussi possible. L'apport du phosphore et de l'azote organique dans l'effluent peut s'expliquer par une faible augmentation des MES dans l'effluent, alors que la faible augmentation des orthophosphates demeure inexpliquée.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier sincèrement mon directeur de recherche, M. Roland Leduc, professeur au Département de génie civil de l'Université de Sherbrooke, pour son support scientifique et son encouragement tout au long de ce projet.

Mes remerciements vont également à M. Serge Bérubé, du laboratoire de génie de l'environnement, pour ses conseils et pour son aide technique qu'il a apporté durant la réalisation de ce projet.

Enfin, je voudrais placer ici un mot de reconnaissance profonde à mon époux Vladimir, et à mes deux filles Anamaria et Vladana pour leur soutien moral, leur compréhension et leurs patience.

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|----|
| 1. Introduction | 1 |
|1.1 Problématique | 1 |
|1.2 Objectif de la recherche | 3 |
| 2. Revue bibliographique | 4 |
| 2.1 Processus à boues activées | 4 |
| 2.2 Formation des floccs des boues activées | 5 |
| 2.3 Décantation des boues activées | 9 |
| 2.3.1 Courbe de décantation des boues activées | 9 |
| 2.3.2 Paramètres de décantation des boues activées | 11 |
| a) Indice volumique de la boue (IVB) | 11 |
| b) Vitesse de décantation en zone (VDZ) | 13 |
| c) Longueur totale des filaments allongés (LTFA) | 16 |
| 2.3.3 Effets des propriétés physico-chimiques du floc sur la décantation | 16 |
| 2.3.4 Micro-organismes impliqués dans la décantation | 19 |
| 2.3.5 Problèmes possibles concernant la décantation | 24 |
| a) Déflocculation ou croissance dispersée | 24 |
| b) Formation des microflocs (<i>pinpoint floccs</i>) | 25 |
| c) Gonflement gélatineux | 26 |
| d) Flottation des boues | 26 |
| e) Gonflement filamenteux | 27 |
| f) Formation de mousse causée par des organismes filamenteux | 27 |
| 2.3.6 Facteurs influençant la décantation des boues activées | 28 |
| a) Nature et composition du substrat | 28 |
| b) Carence en nutriments | 29 |
| c) Température | 30 |
| d) Aération et concentration en oxygène dissous..... | 30 |
| e) pH | 31 |
| f) Charge organique | 31 |
| g) Configuration du procédé | 32 |

| | |
|---|-----|
| h) Âge de la boue (θ_C) | 33 |
| 2. 3. 7 Décantation de la boue dans un réacteur biologique séquentiel (RBS) | 35 |
| 2. 3. 8 Décantation assistée des boues activées | 38 |
| a) Coagulants inorganiques..... | 38 |
| b) Polymères synthétiques | 40 |
| 2. 4 Le chitosane, un biopolymère | 44 |
| 3. Méthodologie | 49 |
| 3. 1 Montage expérimental | 49 |
| 3. 2 Type d'eau usée synthétique (EUS) | 53 |
| 3. 3 Boues activées d'ensemencement | 54 |
| 3. 4 Solution de chitosane..... | 54 |
| 3. 5 Stratégie d'opération du réacteur..... | 54 |
| 3. 6 Procédure expérimentale | 56 |
| 3. 6. 1 Évaluation des effets du chitosane sur la décantation de la boue activée .. | 57 |
| 3. 6. 2 Évaluation des impacts du chitosane sur le traitement biologique | 61 |
| 3. 7 Méthodes analytiques | 62 |
| 4. Présentation et discussion des résultats | 65 |
| 4. 1 Effets du chitosane sur la décantation de la boue activée | 65 |
| 4. 1. 1 Essais de décantation dans le réacteur RBS | 65 |
| 4. 1. 2 Essais dans les cylindres gradués | 81 |
| 4. 2 Effets du chitosane sur le traitement biologique dans le RBS | 124 |
| 4. 2. 1 Série d'expériences A | 124 |
| 4. 2. 2 Série d'expériences B..... | 138 |
| Conclusion et recommandations | 155 |
| Références bibliographiques..... | 158 |
| Annexe A Données de décantation de la boue activée dans le RBS | 166 |
| Annexe B Données de décantation de la boue activée dans des cylindres gradués | 173 |
| Annexe C Données sur le traitement biologique dans le RBS | 182 |
| Annexe D Résultats de la régression nonlinéaire effectuée par le logiciel Datafit 6.1. . | 192 |

LISTE DES TABLEAUX

| | | |
|-----|---|-----|
| 2.1 | Classification de la décantabilité des boues activées par rapport à l'IVB et la VDZ | 15 |
| 3.1 | Les dimensions du réacteur..... | 49 |
| 3.2 | Les caractéristiques techniques du matériel utilisé | 52 |
| 3.3 | Composition de l'eau usée synthétique utilisée | 53 |
| 3.4 | Horaire journalier typique d'opération du RBS | 55 |
| 3.5 | Le cycle opératoire dans le RBS | 55 |
| 3.6 | Âge de la boue (j) dans le RBS | 56 |
| 3.7 | Résumé des expériences effectuées | 58 |
| 3.8 | Méthodes et appareils utilisés pour les analyses | 63 |
| 4.1 | Effets du chitosane sur la décantation de la boue exprimés par les changements relatifs des paramètres de décantation | 77 |
| 4.2 | Données sur la décantation de la boue activée dans des cylindres gradués pour les différentes concentrations de chitosane ajoutées lors de la série A..... | 83 |
| 4.3 | Données sur la décantation de la boue activée dans des cylindres gradués pour les différentes concentrations de chitosane lors de la série B | 86 |
| 4.4 | Les résultats de la régression nonlinéaire du modèle utilisé pour décrire la relation entre V_C et la concentration de chitosane pour la série D..... | 104 |
| 4.5 | Les modèles appropriés pour établir la relation entre IVB_C et la concentration de chitosane allant jusqu'à 5 mg/L..... | 105 |
| 4.6 | Les résultats de la régression nonlinéaire du modèle utilisé pour décrire la relation entre l' IVB_C et la concentration de chitosane pour la série D | 106 |
| 4.7 | Les modèles appropriés pour établir la relation entre le rapport IVB_C / IVB_{C0} et la concentration de chitosane | 110 |
| 4.8 | Modèles plausibles pour décrire la relation entre l' IVB_C et la concentration de chitosane pour la boue en état de gonflement | 120 |
| 4.9 | Modèles plausibles pour décrire la relation entre V_C et la concentration de chitosane pour la boue en état de gonflement | 121 |

LISTE DES FIGURES

| | | |
|-----|--|----|
| 2.1 | Représentation de la structure du floc en terme de la micro- et la macro-structure | 7 |
| 2.2 | La courbe de décantation des boues activées : 1– boue avec sédimentation correcte ; 2– boue avec mauvaise sédimentation ; I– la floculation ; II- la décantation ralentie ; III- la transition et la compression | 10 |
| 2.3 | Représentation schématique d'un floc de boue activée dans une échelle arbitraire de taille | 17 |
| 2.4 | Les trois groupes de bactéries impliquées dans la sédimentation des boues activées | 20 |
| 2.5 | Corrélation entre la charge organique et la décantabilité des boues | 32 |
| 2.6 | Les caractéristiques du profil du substrat dans un RBS..... | 37 |
| 2.7 | Structure chimique de la chitine a) et du chitosane b) | 45 |
| 2.8 | Montage expérimental | 50 |
| 4.1 | Courbes de décantation de la boue activée dans le RBS lors de la période de stabilisation du système pendant la série A, cycle I, sans ajout de chitosane..... | 66 |
| 4.2 | Effet du chitosane au dosage de 5 mg/L sur la décantation de la boue activée dans le RBS pendant la série A..... | 68 |
| 4.3 | Évolution journalière de la vitesse de décantation en zone (VDZ) et de l'indice volumique de la boue (IVB) dans le RBS pendant la série A..... | 69 |
| 4.4 | Évolution journalière du volume de la boue décantée après 45 minutes de décantation (V_{45}) et de la matière en suspension (MES) dans l'effluent du RBS pendant la série A..... | 70 |
| 4.5 | Courbes de décantation de la boue activée dans le RBS lors de la période de stabilisation du système pendant la série B, sans ajout de chitosane..... | 73 |
| 4.6 | Effet du chitosane au dosage de 15 mg/L sur la décantation de la boue activée dans le RBS pendant la série B | 74 |
| 4.7 | Évolution journalière de la vitesse de décantation en zone (VDZ) et de l'indice volumique de la boue (IVB) dans le RBS pendant la série B..... | 75 |
| 4.8 | Évolution journalière du volume de la boue décantée après 45 minutes de décantation (V_{45}) et de la matière en suspension (MES) dans l'effluent du RBS pendant la série B..... | 76 |
| 4.9 | La vitesse de décantation en zone (VDZ) versus la concentration de la matière en suspension de la liqueur mixte (MLSS) | 80 |

| | | |
|------|---|-----|
| 4.10 | Courbes de décantation de la boue activée dans des cylindres gradués en fonction des différents dosages de chitosane pendant la série A | 82 |
| 4.11 | Courbes de décantation de la boue activée dans des cylindres gradués en fonction des différents dosages de chitosane pendant la série B..... | 85 |
| 4.12 | L'effet du chitosane au dosage de 1 mg/L sur la décantation de la boue activée dans un cylindre gradué, série C, jour 8 | 88 |
| 4.13 | L'effet du chitosane en dosage de 0,5 mg/L sur la décantation de la boue activée dans un cylindre gradué, série C, jour 9..... | 89 |
| 4.14 | L'effet du chitosane au dosage de 1,5 mg/L sur la décantation de la boue activée dans un cylindre gradué, série C, jour 10..... | 90 |
| 4.15 | L'effet du chitosane au dosage de 2 mg/L sur la décantation de la boue activée dans un cylindre gradué, série C, jour 11 | 91 |
| 4.16 | L'effet du chitosane au dosage de 4 mg/L sur la décantation de la boue activée dans un cylindre gradué, série C, jour 14..... | 92 |
| 4.17 | L'effet du chitosane au dosage de 8 mg/L sur la décantation de la boue activée dans un cylindre gradué, série C, jour 15..... | 93 |
| 4.18 | L'effet du chitosane au dosage de 3 mg/L sur la décantation de la boue activée dans un cylindre gradué, série C, jour 16..... | 94 |
| 4.19 | La vitesse de décantation dans le cylindre (V_C) en fonction de la concentration de chitosane lors de la série C..... | 95 |
| 4.20 | Indice volumique de la boue (IVB_C) en fonction de la concentration de chitosane lors de la série C..... | 96 |
| 4.21 | Le changement relatif de la vitesse de décantation dans un cylindre en fonction de la concentration de chitosane pour la série C..... | 97 |
| 4.22 | Le changement relatif de l'indice volumique de la boue dans un cylindre (IVB_C) en fonction de la concentration de chitosane pour la série C..... | 98 |
| 4.23 | Courbes de décantation de la boue activée dans des cylindres gradués en fonction des faibles concentrations de chitosane au jour 10 pour la série D ($\theta_c = 7,5$ j) | 99 |
| 4.24 | Variation de la vitesse de décantation V_C en fonction de la concentration de chitosane pour la série D ($\theta_c = 7,5$ j)..... | 101 |

| | | |
|------|---|-----|
| 4.25 | Variation de l'IVB _C en fonction de la concentration de chitosane pendant la série D($\theta_c = 7,5$ j) | 102 |
| 4.26 | Relation entre la vitesse de décantation V _C et la concentration de chitosane établie par la régression nonlinéaire pour la série D | 103 |
| 4.27 | Relation entre l'IVB _C et la concentration de chitosane établie par la régression nonlinéaire pour la série D..... | 105 |
| 4.28 | Effet du chitosane sur la décantation de la boue activée exprimé en terme de changement relatif de la V _C pour les séries B, C et D..... | 107 |
| 4.29 | Effet du chitosane sur la décantation de la boue activée exprimé en terme de changement relatif d'IVB _C pour les séries B, C et D..... | 108 |
| 4.30 | Comparaison de deux modèles pour étudier la relation entre le changement relatif de la vitesse de décantation et la concentration de chitosane | 109 |
| 4.31 | Comparaison des modèles plausibles pour décrire la relation entre le changement relatif d'IVB _C et la concentration de chitosane..... | 110 |
| 4.32 | L'effet du chitosane au dosage de 4 mg/L sur la décantation de la boue activée en état de gonflement dans un cylindre gradué au jour 16 de la série C..... | 111 |
| 4.33 | Présence d'organismes filamenteux dans la boue activée en état de gonflement lors de la série E (grossissement x100)..... | 112 |
| 4.34 | Présence de biopolymères extracellulaire sur la surface bactérienne de la boue activée en état de gonflement lors de la série E (microscopie électronique à la balayage, grossissement x20000)..... | 113 |
| 4.35 | Courbes de décantation de la boue activée en état de gonflement dans des cylindres gradués en fonction des différentes concentrations de chitosane au jour 22 de la série C..... | 114 |
| 4.36 | Courbes de décantation de la boue activée en état de gonflement dans des cylindres gradués en fonction des différentes concentrations de chitosane au jour 20 de la série E..... | 115 |
| 4.37 | L'indice volumique de la boue dans un cylindre gradué (IVB _C) en fonction de la concentration de chitosane pour la boue en état de gonflement..... | 117 |
| 4.38 | Vitesse de décantation en zone dans un cylindre gradué (V _C) en fonction de la concentration de chitosane pour la boue en état de gonflement..... | 118 |

| | | |
|------|---|-----|
| 4.39 | Le premier modèle pour décrire la relation entre l'IVB _C et la concentration de chitosane pour la boue en état de gonflement | 120 |
| 4.40 | Le deuxième modèle pour décrire la relation entre l'IVB _C et la concentration de chitosane pour la boue en état de gonflement | 121 |
| 4.41 | Le premier modèle plausible pour décrire la relation entre la V _C et la concentration de chitosane pour la boue en état de gonflement..... | 122 |
| 4.42 | Le deuxième modèle plausible pour décrire la relation entre la V _C et la concentration de chitosane pour la boue en état de gonflement..... | 122 |
| 4.43 | Le troisième modèle plausible pour décrire la relation entre la V _C et la concentration de chitosane pour la boue en état de gonflement..... | 123 |
| 4.44 | Évolution journalière du COT dans l'affluent et l'effluent du RBS pendant la série A | 125 |
| 4.45 | Efficacité d'enlèvement du COT dans le RBS pendant la série A..... | 126 |
| 4.46 | Évolution du COT dans le surnageant de la liqueur mixte du RBS pendant la phase de réaction du premier cycle avant et après l'ajout du chitosane lors de la série A. | 127 |
| 4.47 | Évolutions journalières de la MLVSS et MLSS dans le RBS pendant la série A..... | 128 |
| 4.48 | Évolution journalière de NH ₃ -N dans l'affluent et l'effluent du RBS pendant la série A. | 130 |
| 4.49 | Efficacité d'enlèvement de NH ₃ -N dans le RBS pendant la série A..... | 131 |
| 4.50 | Évolution journalière de TKN dans l'affluent et l'effluent du RBS pendant la série A.... | 132 |
| 4.51 | Efficacité d'enlèvement du TKN dans le RBS pendant la série A..... | 133 |
| 4.52 | Évolution journalière des NO ₃ ⁻ dans l'affluent et l'effluent du RBS pendant la série A... | 134 |
| 4.53 | Évolution de NH ₃ -N dans le surnageant de la liqueur mixte du RBS pendant la phase de réaction du premier cycle lors de la série A..... | 136 |
| 4.54 | Évolution du TKN dans le surnageant de la liqueur mixte du RBS pendant la phase de réaction du premier cycle lors de la série A..... | 137 |
| 4.55 | Évolution journalière des PO ₄ ³⁻ dans l'affluent et l'effluent du RBS pendant la série A.. | 139 |
| 4.56 | Efficacité d'enlèvement des PO ₄ ³⁻ dans le RBS pendant la série A..... | 140 |
| 4.57 | Évolution journalière du P _i dans l'affluent et l'effluent du RBS pendant la série A | 141 |
| 4.58 | Efficacité d'enlèvement de P _i dans le RBS pendant la série A..... | 142 |
| 4.59 | Évolution journalière du COT dans l'affluent et l'effluent du RBS pendant la série B | 143 |
| 4.60 | Efficacité d'enlèvement du COT dans le RBS pendant la série B..... | 144 |

| | | |
|------|--|-----|
| 4.61 | Évolution du COT dans le surnageant de la liqueur mixte du RBS pendant la phase de réaction du premier cycle avant et après l'ajout du chitosane lors de la série B..... | 146 |
| 4.62 | Évolutions journalières de la MLVSS et MLSS dans le RBS pendant la série B..... | 147 |
| 4.63 | Évolution journalière des NO_3^- dans l'affluent et l'effluent du RBS pendant la série B ... | 148 |
| 4.64 | Évolution journalière des PO_4^{3-} dans l'affluent et l'effluent du RBS pendant la série B .. | 150 |
| 4.65 | Efficacité d'enlèvement des PO_4^{3-} dans le RBS pendant la série B..... | 151 |
| 4.66 | Évolution des PO_4^{3-} dans le surnageant de la liqueur mixte du RBS pendant la phase de réaction du premier cycle avant et après l'ajout du chitosane lors de la série B. | 152 |
| 4.67 | Évolution journalière du P_i dans l'affluent et l'effluent du RBS pendant la série B | 153 |
| 4.68 | Efficacité d'enlèvement du P_i dans le RBS pendant la série B | 154 |

LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES

| | |
|--------------------|--|
| ADN : | Acide désoxyribonucléique. |
| APHA : | American Public Health Association. |
| A/V : | Rapport de l'aire superficielle par rapport au volume des filaments. |
| CCF : | Farine de la tige de maïs (<i>corn cob flour</i>). |
| COT : | Carbone organique total. |
| DBO ₅ : | Demande biochimique en oxygène après 5 jours (mg O ₂ /L). |
| DDA : | Degré de déacétylation (%). |
| EUS : | Eau usée synthétique. |
| F/M : | Charge organique spécifique (kg DBO ₅ /(kg MLVSS * j)). |
| IVB : | Indice volumique de la boue (mL/g MLSS). |
| IVB _A : | Indice volumique de la boue agitée (mL/g MLSS). |
| IVB _c : | Indice volumique de la boue dans un cylindre gradué (mL/g). |
| IVB _D : | Indice volumique de la boue diluée (mL/g MLSS). |
| K _S : | Constante de demi-vitesse (mg/L). |
| K : | Paramètre empirique de décantation en zone (L/mg). |
| LTFA : | Longueur totale des filaments allongés. |
| MLSS : | Matière en suspension dans la liqueur mixte (mg/L). |
| MLVSS : | Matière volatile en suspension dans la liqueur mixte (mg/L). |
| MES : | Matière en suspension (mg/L). |
| MVS : | Matière volatile en suspension (mg/L). |
| OD : | Oxygène dissous. |
| PEC : | Polymères extracellulaires. |
| PEHD : | Polyéthylène haute densité. |
| pH : | Potentiel hydrogène. |
| PHB : | Poly-β-hydroxybutyrates. |
| P _t : | Phosphore total (mg/L). |
| RBS : | Réacteur biologique séquentiel. |
| S _{max} : | Concentration maximale du substrat soluble dans le réacteur (mg/L). |

| | |
|----------------------|--|
| S_{\min} : | Concentration minimale du substrat soluble dans le réacteur (mg/L). |
| t_{endog} : | Temps de la respiration endogène. |
| t_{exog} : | Temps de la respiration exogène. |
| TKN : | Azote Kjeldahl total. |
| T : | Température (°C). |
| V_C : | Vitesse de décantation en zone dans un cylindre gradué (cm/min). |
| V_s : | Vitesse de décantation en zone (m/h). |
| V_0 : | Paramètre empirique de décantation en zone (m/h). |
| VDZ : | Vitesse de décantation en zone (cm/min). |
| X : | Concentration de la biomasse (mg MLVSS/L). |
| X_i : | Concentration initiale de la boue au début de la décantation (mg/L). |
| μ : | Taux spécifique de la croissance de la biomasse (j^{-1}). |
| μ_m : | Taux spécifique maximum de croissance de la biomasse (j^{-1}). |
| θ_c : | Âge de la boue (j). |

1. INTRODUCTION

1.1 Problématique

Les systèmes à boues activées sont très efficaces concernant l'enlèvement des polluants organiques solubles. La plupart des stations d'épuration par boues activées produisent des effluents dont la DBO₅ soluble est inférieure à 5 mg/L (BENEFIELD et RANDALL, 1980). Selon la configuration du processus, la concentration d'azote et phosphore filtré dans l'effluent final peut être inférieure à 1 mg/L (WANNER, 1994). Dans la plupart des cas, c'est la quantité des matières en suspension s'échappant du décanteur secondaire qui limite la qualité de l'effluent d'une installation d'épuration par boues activées. Selon l'âge des boues, les matières en suspension qui s'échapperont du décanteur secondaire représentent de 50 à 90% de la DBO₅ de l'effluent (CHAPMAN, 1988). Aussi, 20 mg/L de matières en suspension constituent 1,5-2 mg/L d'azote organique et plus de 2 mg/L de phosphore total (WANNER, 1994).

Donc, la séparation de la biomasse dans le décanteur secondaire est une opération cruciale pour la qualité d'effluent final de la station à boues activées, parce que souvent celui-ci représente la dernière unité de ce système avant le rejet au milieu récepteur aquatique.

Le décanteur secondaire doit encore garantir une sédimentation convenable des boues ce qui est important pour une recirculation efficace dans un système à boues activées. Par ailleurs, plus la concentration de la biomasse dans cette boue est grande plus le volume de la boue en excès est petit, influençant la réduction de la capacité de la ligne de traitement des boues. L'importance de ce rôle du décanteur peut être soulignée par le fait que le traitement de la boue secondaire peut coûter jusqu'aux 2/3 de l'investissement et des frais de fonctionnement de la station de traitement (ECCLES et coll., 1985, cité par EDELINE, 1993).

Souvent, l'efficacité des systèmes à boues activées est perturbée par une mauvaise décantation de la boue dans le décanteur secondaire. Il semble qu'environ la moitié des installations souffrent d'un gonflement des boues (*bulking*), un dysfonctionnement assez grave qui empêche une sédimentation correcte (EDELINE, 1993).

La configuration physique du réacteur biologique séquentiel (RBS) lui donne quelques avantages sur tous les systèmes en continu, vis-à-vis de la décantation. Puisque la biodégradation de la matière organique et la décantation des boues activées se produisent dans un même réacteur, cette dernière n'est pas perturbée par l'arrivée ou la sortie d'un flux liquide. La vitesse horizontale des particules décantables est nulle, ce qui rend disponible à cette fonction tout le fond du réacteur. Malgré cela, il est certain que le RBS peut produire une biomasse décantant mal.

La biofloculation des micro-organismes est nécessaire pour une sédimentation efficace des boues. Elle est gouvernée par l'état physiologique des micro-organismes et est possible seulement dans la phase stationnaire et endogène de la croissance (TENNEY et STUMM, 1965).

TENNEY et STUMM (1965) ont étudié la possibilité d'utiliser des polymères synthétiques pour la floculation chimique des micro-organismes dans le traitement biologique des eaux usées ce qui pourrait représenter plusieurs avantages : la réduction des matières en suspension dans l'effluent, la facilité de conditionnement et de filtration des boues et la réduction du temps de séjour dans le décanteur secondaire. Par ailleurs, l'addition de polymères pourrait réconcilier l'incompatibilité entre les besoins pour le taux spécifique d'utilisation du substrat (le taux de croissance élevé) et les besoins pour la bio-floculation maximale (le taux de croissance faible) (TENNEY et STUMM, 1965). Dans un RBS, le raccourcissement de la phase de décantation pourrait peut-être permettre une efficacité accrue du procédé concernant le temps global pour le cycle de traitement.

Pourtant, cette idée n'a été que peu élaborée jusqu'à présent. D'habitude, les polymères synthétiques sont utilisés seulement comme une solution ponctuelle dans la lutte rapide contre le gonflement des boues (DEMEL et MÖBIUS, 1988; SCHWARTZ et POPOWCHAK, 1980) ou contre la formation de la mousse causée par des organismes filamenteux (SHAO et coll., 1997). La raison pourrait se trouver dans le fait que les polymères synthétiques sont coûteux mais aussi qu'ils pourraient avoir des effets toxiques sur la population microbienne.

Lors des dernières décennies, plusieurs polymères naturels apparaissent comme des substitutions exploitables dans le traitement des eaux. Un tel polymère, le chitosane, montre plusieurs

avantages par rapport aux polymères synthétiques : la biodégradabilité, la non toxicité et une vaste plage des dosages efficaces pour la floculation de différentes suspensions colloïdales (KAWAMURA, 1991). Par ailleurs, son application peut réduire la quantité de polymères synthétiques dans les boues, ce qui augmente leur potentiel de valorisation sur les terres agricoles ou sylvicoles.

1. 2 Objectif de la recherche

L'objectif de la recherche est d'étudier le potentiel du chitosane dans le traitement des eaux usées dans un réacteur biologique séquentiel (RBS) concernant premièrement la décantation et l'épaississement de la boue. On a vérifié dans un réacteur biologique séquentiel, construit dans ce but, la performance du chitosane sur la vitesse de décantation en zone (VDZ), l'indice volumique de la boue (IVB), l'enlèvement des matières en suspension et le volume de la boue après la décantation. Dans un réacteur biologique séquentiel on veut avoir une décantation et un épaississement efficaces qui permettraient de vidanger rapidement et ensuite passer au cycle opératoire suivant. Donc, la vérification du potentiel du chitosane sur la réduction du temps de décantation représente un objectif primaire.

Un objectif secondaire s'impose naturellement. Il s'agit des impacts du chitosane sur la biodégradation des matières organiques. Les boues activées, une fois floculées par le chitosane, peut montrer une capacité différente concernant l'enlèvement des matières organiques lors de la période de réaction dans les cycles suivants. Ainsi, on a suivi l'évolution de l'enlèvement de carbone organique total (COT), azote ammoniacal (NH_4), azote Kjeldahl total (TKN) et orthophosphates (PO_4^{3-}) et aussi, l'évolution de la biomasse X (mg MLVSS/L) pendant la réaction dans ce cycle.

2. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1 Processus à boues activées

Le processus d'épuration biologique des eaux usées urbaines et industrielles par boues activées a été développé en Angleterre par Arden et Locket en 1914 (WANNER, 1994). Avec le temps, il est devenu le plus répandu au monde.

Il repose sur la capacité que possèdent certaines espèces de micro-organismes à convertir la matière organique dissoute et colloïdale en matière inorganique simple (H_2O , CO_2 , N_2). Deux principes sont à la base du processus. Le premier est l'oxydation biochimique du substrat par voie aérobie. La biomasse constituée par l'association des micro-organismes hétérogènes (bactéries, protozoaires, rotifères, champignons) procède à l'assimilation de la matière biodégradable par digestion enzymatique. Cette assimilation se traduit par une croissance cellulaire et un dégagement énergétique. Le second principe se rapporte à la floculation. Sous des conditions adéquates, les micro-organismes forment, de façon spontanée, des floccs décantables. Donc la matière organique à l'affluent passe de l'état soluble ou colloïdal à l'état décantable. C'est le grand intérêt du processus des boues activées.

Pour un bon fonctionnement du processus, trois conditions biologiques doivent être remplies :

- les micro-organismes doivent être en condition de dégrader la matière organique ;
- ils doivent avoir la capacité de croître et de se multiplier dans le bassin d'aération ;
- les populations des micro-organismes doivent croître sous les conditions favorisant leur décantation rapide.

Quelles sont les conditions nécessaires pour une décantation efficace des boues activées? La réponse à cette question exige des connaissances sur la formation des agrégats décantables, soit les floccs. C'est pourquoi il est souhaitable de présenter quelques notions sur le phénomène de la biofloculation des boues activées.

2.2 Formation des floccs de boues activées

Les floccs des boues activées consistent en l'agglomération de particules en suspension et de micro-organismes, qui est un résultat de la floculation bio-physico-chimique. Malgré les nombreuses recherches concernant la biofloculation, ce phénomène n'est pas tout à fait bien compris à ce jour. Le niveau actuel des connaissances sur la formation des floccs reconnaît deux éléments essentiels impliqués dans la biofloculation.

Les polymères extracellulaires (PEC) sont le premier élément nécessaire pour la formation des floccs. Ces polymères sont sécrétés par les micro-organismes, appelés les formeurs de floccs (*flocs formers*), (expression utilisée par EDELINE (1993) que nous adoptons), et leur interaction amène à la formation de la matrice tridimensionnelle (CHUDOKA, 1989). Les formeurs de floccs sont représentés par les genres *Arthrobacter*, *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Citromonas*, *Flavobacterium* et *Zoogloea*, capables de convertir la matière organique en une matière extracellulaire ou glycocalyx (JENKINS et coll., 1986). Le glycocalyx représente la couche polysaccharidique entourant la cellule bactérienne. Ce polymère organique, en conjonction avec les autres polymères extracellulaires (protéines, lipides, acide désoxyribonucléique (ADN)), réagit comme une colle entre les cellules individuelles et participe à la formation de larges agrégats. L'adsorption et le pontage biopolymérique sont responsables de l'intégration des micro-organismes dans les floccs (TENNEY et STUMM, 1965; BUSCH et STUMM, 1968; PAVONI et coll., 1972). La réduction de la charge superficielle ne présente pas le mécanisme primaire impliqué dans la biofloculation (PAVONI et coll., 1972). Les groupes fonctionnels (COO^- et OH^-) dans les polymères extracellulaires interviennent lors de l'interaction entre les polymères ainsi qu'entre la surface des floccs et les polymères. Le mécanisme est similaire à la floculation par les polyélectrolytes synthétiques. Une nette amélioration de la floculation des boues mal flocculées peut être obtenue par l'addition de polymères excrétés par des boues activées bien flocculées (BUSCH et STUMM, 1968).

Selon TENNEY et STUMM (1965), et PAVONI et coll. (1972) la floculation efficace se produit plutôt dans la phase endogène de la croissance des bactéries. En effet, ils supposent que dans la phase logarithmique de croissance, le taux de pénétration des polymères naturels est plus faible

que le taux de croissance des micro-organismes. Ainsi, les polymères naturels ne peuvent pas couvrir effectivement la surface du floc, ce qui rend la biofloculation inefficace dans cette phase de croissance.

LI et GANCZARCZYK (1990) confirment le rôle important de la matrice polymérisée dans la floculation des boues activées. Ils considèrent aussi que le pontage biopolymérique est responsable de l'intégration des micro-organismes dans les flocs. De plus, leur étude a démontré les points suivants :

- les polymères extracellulaires sont produits principalement durant la période de métabolisme endogène ce qui s'accorde avec la supposition initiale de TENNEY et STUMM (1965) et PAVONI et coll. (1972) ;
- les micro-organismes ne sont pas distribués uniformément dans la matrice polymérisée (en effet, ils forment des micro-colonies dispersées irrégulièrement à l'intérieur des flocs) ;
- la matrice polymérisée est responsable de l'intégration de larges flocs exposés aux conditions de turbulence (cependant l'intégration des flocs dans les boues activées en état de gonflement est garantie par l'ossature filamenteuse des bioflocs).

Récemment, SANIN et VESILIND (1996) ont étudié la possibilité de production des boues activées synthétiques. De là, ils ont postulé que les processus de pontage polymérique et de formation du gel polysaccharidique via des ions métalliques (Ca^{2+} , Mg^{2+}) étaient les principaux mécanismes responsables de la formation de flocs dans les boues activées. De plus, ils ont reconnu l'importance du rôle des micro-organismes filamenteux dans la structure du floc des boues activées.

Les micro-organismes filamenteux sont juste le deuxième élément essentiel sur lequel repose une des théories sur la biofloculation des boues activées, la théorie de l'ossature filamenteuse (*filamentous backbone theory*), introduite par SEZGIN et coll. (1978) et élaborée un peu plus tard par JENKINS et coll. (1986). Selon cette théorie, la structure du floc des boues activées est formée à deux niveaux (SEZGIN et coll., 1978; LAU et coll., 1984; JENKINS et coll., 1986) (Figure 2.1).

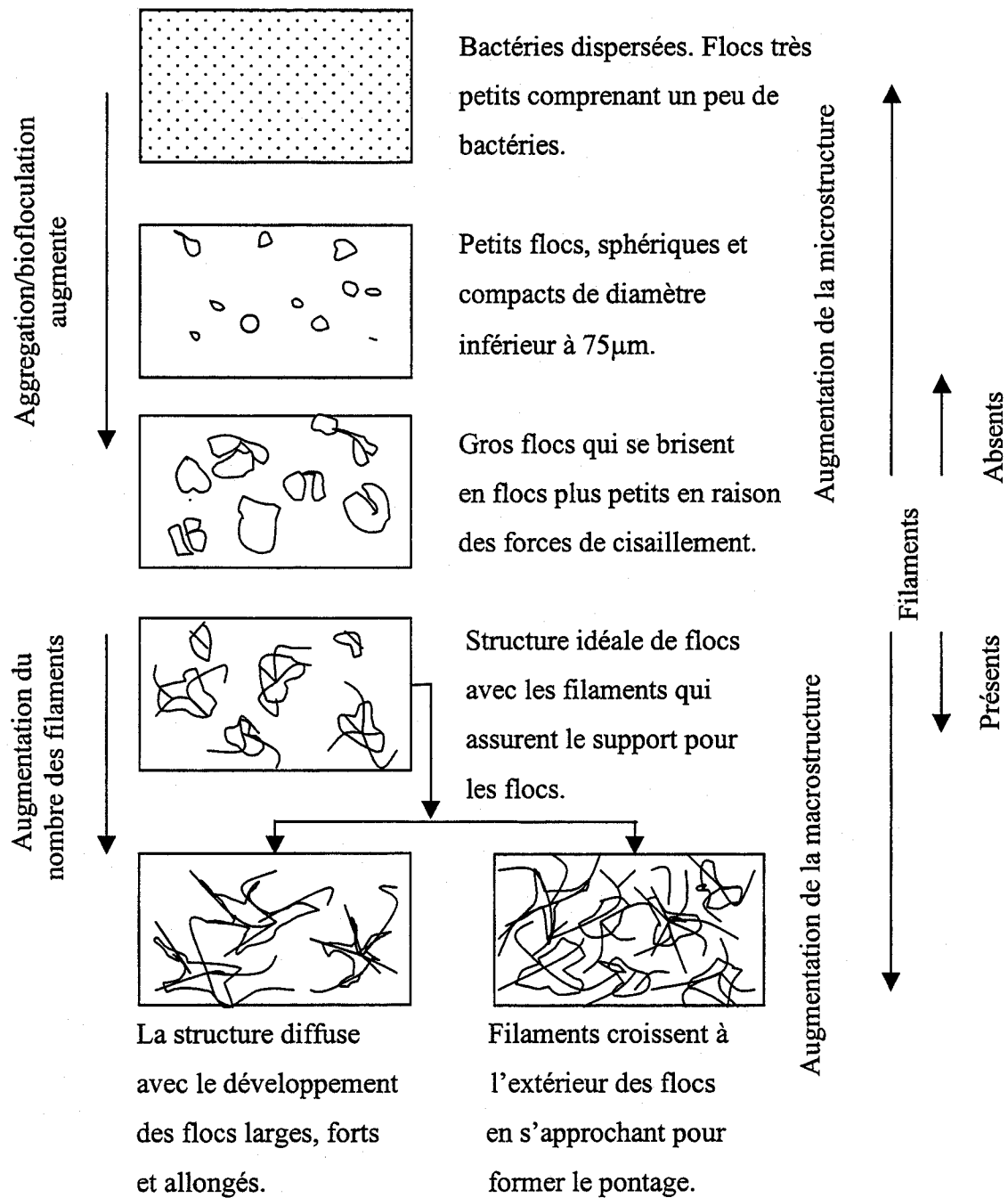


Figure 2.1: Représentation de la structure du floc en terme de la micro- et la macro-structure (GRAY, 1990, p.177).

Le premier niveau, appelé la microstructure, est dépendant de la biofloculation des formeurs de floccs. Cette structure est petite, sphérique et compacte, mais assez faible mécaniquement. Les larges floccs présentent la macrostructure pourvue par les micro-organismes filamenteux. On a suggéré que ceux-ci forment une épine dorsale sur laquelle les formeurs de floccs sont attachés à l'aide de leurs polymères extracellulaires. La disparition des micro-organismes filamenteux dans la biocénose des boues activées conduit à la désintégration de larges floccs en microfloccs de premier niveau. L'équilibre entre les organismes filamenteux et les organismes formeurs de floccs assure ainsi l'existence d'un type de floc idéal pour les boues activées.

La présence de ces deux structures distinctes de floccs est démontrée expérimentalement par LAU et coll. (1984). En cultivant simultanément *Citromonas sp.*, appartenant au groupe des bactéries entraînant la formation de floccs et *Sphaerotilus natans*, du groupe des bactéries filamenteuses, ils ont trouvé que *S. natans* réagit comme un support pour l'agrégation des bactéries *Citromonas*.

CHUDоба (1989) rejette cette explication sur la biofloculation des boues activées en déclarant que les boues activées peuvent montrer des propriétés de floculation et de décantation suffisantes sans l'existence d'aucun micro-organisme filamenteux. Selon lui, la matrice formée par l'excrétion de glycocalyx serait plutôt le facteur primaire dans la formation de floccs ayant les propriétés physiques désirables. Aussi, WANNER et GRAU (1989) n'étaient pas vraiment convaincus quant à la nécessité de l'ossature pour la formation des floccs forts, résistants et bien décantables. Pourtant, WANNER (1994) souligne que les micro-organismes filamenteux, particulièrement ceux qui croissent à l'intérieur des floccs, peuvent être difficilement observables ce qui peut mener à des conclusions superficielles.

Bien que la théorie de l'ossature filamenteuse ne fût pas acceptée unanimement par le passé, elle gagne avec le temps de plus en plus d'atouts à son bénéfice. La preuve indirecte appuyant cette théorie se trouve dans les systèmes où les micro-organismes filamenteux étaient éliminés de la biocénose des boues activées. Ainsi, l'élimination des filamenteuses dans la station à Tri-City, Oregon, a induit un indice volumique de la boue (IVB) de 20-30 mL/g, mais pourtant l'effluent était turbide en raison des microfloccs (WANNER, 1994).

ERIKSSON et ALM (1991) expliquent la biofloculation en postulant trois étapes de la formation de floccs des boues activées. D'abord, ils estiment que les boues activées sont flocculées par au moins deux groupes différents de polymères. L'interaction du premier groupe est via des groupes chargés et des ions métalliques, tandis que pour le deuxième groupe l'interaction se produit par un autre mécanisme (liaisons hydrophobes ou hydrogènes ou enchevêtrement physique). Le pontage polymères/ions métalliques est la première étape lors de laquelle les floccs primaires sont formés. Ils possèdent alors une forme allongée. Lors de la deuxième étape, les floccs deviennent plus sphériques et plus résistants. Cette étape inclut la formation de réseaux polymériques par enchevêtrement des fibrilles polysaccharidiques capturées. La dernière phase comprend la formation de macrofloccs par les polymères chargés et par les organismes filamenteux.

2.3 Décantation des boues activées

2.3.1 Courbe de décantation des boues activées

La boue activée est une suspension flocculante décantant en masse, ce qui permet d'enregistrer la chute de l'interface liquide/boue au cours du temps. Sa décantation comprend deux types: la décantation ralentie (*hindered settling*) et la compression. La courbe de chute de l'interface $H(t)$ en fonction du temps peut être divisée en quatre phases.

La première phase (I), dite de floculation comprend la formation des agrégats. D'après SEZGIN et coll., (1978), sa durée dépend de la présence des filaments dans la boue activée. Pour une longueur totale des filaments allongés de $10^7 \mu\text{m/mL}$, elle est très courte (1-1,5 min). Au contraire, si la présence des filaments dans la boue activée est importante, un temps prolongé est nécessaire pour l'agrégation des floccs. Suit la phase (II) où la suspension de boue activée décante en piston en présentant une interface nette entre la boue et le surnageant qui descend à une vitesse constante. Celle-ci correspond à la pente de la courbe $H(t)$ et est appelée la vitesse de décantation ralentie ou décantation en zone, VDZ (*zone settling velocity, ZSV*).

Au cours de la décantation qui progresse, les particules s'accumulent au fond. L'interface liquide/flocs rencontre les couches contenant ces particules accumulées ce qui entraîne une diminution de la vitesse de décantation. Cette phase (III) est appelée la transition. La diminution de la vitesse de décantation est due à l'augmentation de la densité et de la viscosité de la suspension. La décantation de boue activée se termine par le troisième type de décantation des particules, connu comme la compression. Le degré de compression dépend étroitement de la structure physique des floccs, en particulier du degré d'hydratation et de la solidité des liaisons entre l'eau et les matières organiques constituant la biomasse. Sur la Figure 2.2 cette dernière phase constitue avec la phase de la transition la troisième partie de la courbe de décantation.

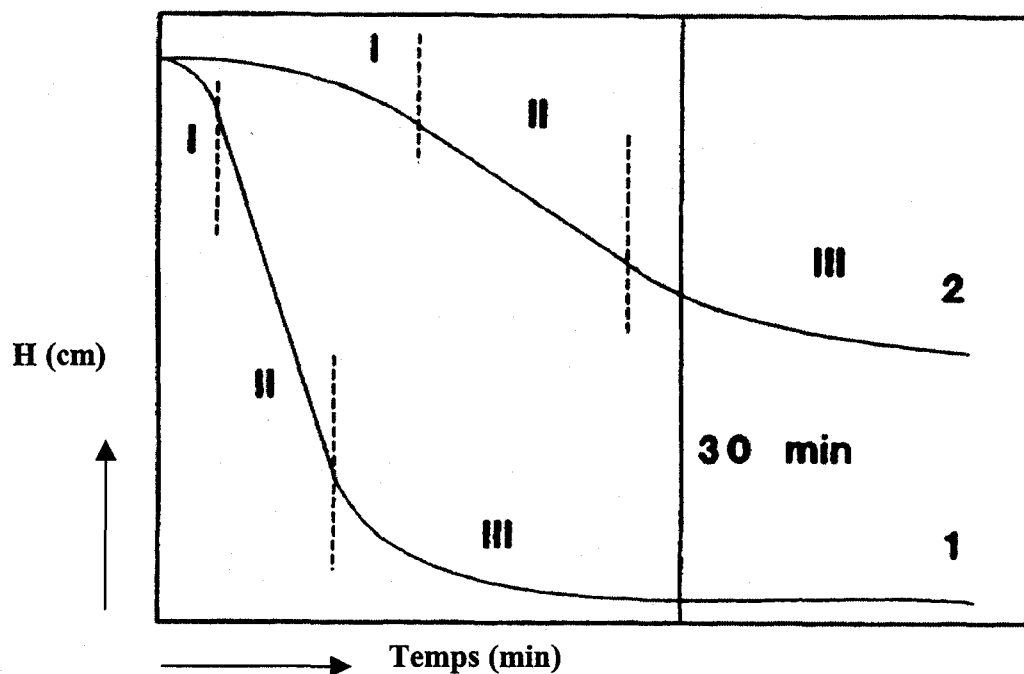


Figure 2.2 : La courbe de décantation des boues activées : 1-boue avec sédimentation correcte ; 2-boue avec mauvaise sédimentation ; I- la floculation ; II- la décantation ralentie ; III- la transition et la compression (WANNER, 1994, p. 113).

2.3.2 Paramètres de décantation des boues activées

Lors de la longue histoire des systèmes à boues activées, deux paramètres principaux se sont développés pour la quantification de la décantation des boues activées : l'indice volumique de la boue (IVB) et la vitesse de décantation en zone (VDZ). Pourtant, leur utilisation est toujours soumise à la critique.

Leur désavantage principal est le caractère stationnaire attribué à la décantation. La vitesse de décantation en zone renferme seulement une partie de la courbe de décantation tandis que l'IVB comprend le volume de la boue à 30 min. De plus, l'utilisation de la VDZ et l'IVB comme mesure de la comparaison entre différentes boues activées exige une uniformité concernant la façon d'exécuter le test et la concentration initiale des boues activées.

Dans ce qui suit on va s'arrêter sur les efforts pour surmonter des problèmes concernant la qualification de la décantation des boues activées.

a) Indice volumique de la boue (IVB)

L'indice volumique de la boue (IVB) est introduit par Mohlman en 1930 pour la caractérisation des boues activées concernant la décantation (WANNER, 1994). Il présente le volume (en mL) occupé par un gramme de boue activée (exprimée en matière totale en suspension dans la liqueur mixte, MLSS) après 30 minutes de décantation dans un cylindre gradué de 1 L.

Même si le but initial d'utilisation de ce paramètre était une estimation grossière de la décantation des boues activées dans l'opération quotidienne des stations d'épuration, cet outil est largement appliqué et notamment dans le domaine de recherche pour les comparaisons de boues différentes.

DICK et VESILIND (1969) relèvent plusieurs désavantages à cette application. Ils suggèrent que l'IVB n'est pas une mesure précise des caractéristiques de décantation des boues activées car il ne renseigne pas sur le profil de décantation puisqu'il indique seulement un point. De cette

manière, deux boues activées avec la même valeur d'IVB peuvent posséder différentes caractéristiques de décantation. De plus, plusieurs facteurs affectent la valeur d'IVB lors de la réalisation du test comme le diamètre du cylindre, la température, l'agitation, la hauteur de la colonne et la concentration initiale de boue. Parmi ces derniers les effets de l'agitation et de la concentration initiale des boues sont les plus prononcés.

En raison de la diminution de l'imprécision et de la réduction de la variabilité, plusieurs modifications se sont développées. Pour éliminer les effets de paroi et pour diminuer le temps de floculation, l'agitation lente des boues activées dans le cylindre gradué devenait nécessaire. Ainsi, dernièrement, le test standard pour la mesure de l'IVB est remplacé par la modification consistant en l'introduction de l'agitation lente avec une vitesse périphérique de 1-2 rpm. L'IVB ainsi mesuré, appelé l'indice volumique de la boue agitée, IVB_A (*stirred sludge volume index*, *SSVI*) peut être utilisé pour une gamme de concentration de boues activées plus grande que l'IVB mesuré sans agitation. WHITE (1976), à l'origine de l'utilisation de cette mesure de la décantabilité, a également suggéré le remplacement de la colonne de décantation de 1 L par la colonne d'un volume utile de 3,93 L (de diamètre de 100 mm et de profondeur de 500 mm). Mais, pourtant *Standard Methods* (APHA et coll., 1995) recommande encore la réalisation du test avec la colonne de 1 L.

RACHWAL et coll. (1982) ont fait la comparaison des deux techniques (avec et sans agitation) en utilisant de la boue bien décantée ainsi que de la boue en état de gonflement, et en jouant sur les différentes concentrations des boues. Ils ont trouvé que pour la boue bien décantée, la valeur d' IVB_A se situe entre 80-85 mL/g, alors que la valeur correspondante d'IVB se trouve entre 100 et 120 mL/g. Pour éliminer la dépendance de la concentration des boues activées, ils recommandent la réalisation du test IVB_A avec la concentration de boue (X , exprimé en mg/L de MLSS) constante fixée à 3500 mg/L. Au Japon, les recommandations sont d'utiliser $X = 2500$ mg/L pour l'IVB inférieur à 100 mL/g et $X = 1000$ mg/L pour l'IVB supérieur à 300 mL/g (WANNER, 1994).

ALBERTSON (1992) fait le résumé des corrélations entre l'IVB et l' IVB_A pour les différentes sortes et concentrations des boues activées. On peut conclure que les valeurs d'IVB sont toujours

supérieures à celles d'IVB_A. Plus la décantation est lente et plus la concentration est élevée, plus la différence entre l'IVB et l'IVB_A est importante.

À part la réalisation du test avec la concentration constante et l'agitation lente, le problème de variabilité d'IVB avec la concentration de la boue activée peut être surmonté par la dilution (BYE et DOLD, 1998). L'IVB est indépendant de la concentration de la boue activée en autant que la phase de compression se produit à l'intérieur des 30 minutes ce qui permet la dilution. En effet, EKAMA et MARAIS (1986) ont démontré que l'IVB ne varie pas avec la concentration des boues activées si le volume de la boue décantée après 30 minutes est inférieur à 250 mL. Les échantillons doivent donc être dilués en séries pour pouvoir obtenir le volume de la boue décantée inférieur à 200 mL. L'IVB est alors indiqué comme indice volumique de la boue diluée IVB_D (*diluted sludge volume index, DSVI*).

Parmi toutes ces modifications, le test IVB_D se montre plus précis en assurant des résultats plus réalistes (LEE et coll., 1983). Pourtant, BYE et DOLD (1998) considèrent que même si ce paramètre force la réalisation du test sous des conditions où la dépendance de la concentration initiale des boues est négligeable, il envisage plutôt les caractéristiques d'épaississement que les caractéristiques de décantation des boues.

b) Vitesse de décantation en zone (VDZ)

L'utilisation de la VDZ pour la qualification de la décantabilité est basée sur l'hypothèse de la constance de la vitesse à partir de la fin de la phase de floculation jusqu'au début de la phase de transition. Pourtant, VESILIND et LARSEN (1968) ont montré que les points de cette partie de courbe de décantation ne suivent pas toujours une droite. En effet, plusieurs taux de décantation sont souvent observés. Ceci aborde la difficulté d'attendre une bonne reproductibilité des résultats après plusieurs répétitions. Le phénomène est expliqué par des amas massifs ou des chemins préférentiels.

Plusieurs recherches visent à évaluer les facteurs influençant la valeur de VDZ déterminée par le test effectué au laboratoire (VESILIND et LARSEN, 1968; DICK et EWING, 1967; DICK, 1970). Le diamètre de la colonne de décantation s'est montré comme un facteur majeur. DICK (1970) a relevé que l'effet de paroi est dépendant de la concentration des boues activées. Pour les faibles concentrations des boues activées, cet effet provoque l'augmentation de la vitesse de décantation en zone par la formation de chemins préférentiels alors que pour les concentrations élevées, il retarde la vitesse par la formation d'arc. Pour cette raison, le diamètre de la colonne de décantation ne doit pas être inférieur à 10 cm. L'effet de paroi peut être minimisé par l'agitation lente. La nécessité de cette agitation diminue avec l'augmentation du diamètre. DICK et EWING (1967) ont évalué l'influence de la hauteur initiale de boue sur la VDZ. L'augmentation de la hauteur entraîne à l'élévation de la VDZ.

La vitesse de décantation en zone est fortement dépendante de la concentration de la boue. En augmentant cette dernière dans la colonne de décantation, le temps de floculation se prolonge et la valeur de VDZ diminue.

La quantification de l'influence de la concentration de la boue sur la VDZ est élaborée par plusieurs modèles empiriques. Parmi eux, l'équation semi-logarithmique de VESILIND (1968) est la plus souvent utilisée :

$$V_s = V_o e^{-KX} \quad (2.1)$$

où V_s = vitesse de décantation (m/h),

V_o = paramètre empirique (m/h),

K = paramètre empirique (L/mg),

X = concentration de la biomasse (mg MLSS/L).

Dans la littérature, plusieurs études visent à relier l'IVB et la VDZ. Pour une classification grossière des boues activées on peut utiliser les valeurs présentées dans le Tableau 2.1.

TABLEAU 2.1: CLASSIFICATION DE LA DÉCANTABILITÉ DES BOUES ACTIVÉES
PAR RAPPORT À L'IVB ET LA VDZ (WANNER, 1994).

| Type de décantation | IVB (mL/g) | VDZ (m/h) pour X=3g/L |
|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Bonne décantation | < 100 | > 3 |
| Moyenne décantation | 100-200 | 2-3 |
| État de gonflement | > 200 | < 1.2 |

DAIGGER et ROPER (1985) ont produit une équation empirique décrivant la relation entre ces deux paramètres :

$$VDZ = 7.80 [-(0.148 + 0.0021 \cdot IVB) \cdot X_i] \quad (2.2)$$

où X_i (mg MLSS/L) est la concentration initiale de la boue au début de la décantation. Les valeurs d'IVB utilisées pour la corrélation varient entre 36 et 400 mL/g.

BYE et DOLD (1998) ont remis en question la validité de la corrélation des paramètres de décantation en zone (V_0 et K) avec l'IVB et l'IVB_D. Ils ont conclu que deux échantillons ayant des paramètres de décantation en zone très différents, possèdent le même IVB_D, alors que la corrélation basée sur l'IVB_D prédit les mêmes valeurs pour ces paramètres.

c) Longueur totale des filaments allongés (LTFA)

Certaines recherches ont tenté d'expliquer l'interaction entre la décantabilité et la présence des filaments (SEZGIN et coll., 1978; PALM et coll., 1980; LEE et coll., 1983). Ces recherches ont montré que la longueur des filaments était fortement corrélée aux caractéristiques de décantation des boues. SEZGIN et coll. (1978) ont ainsi introduit un nouveau paramètre pour la caractérisation de la décantabilité : la longueur totale des filaments allongés (*total filament extended length, TEFL*). L'IVB est proportionnel à la longueur totale des filaments. En général, la valeur de $10^7 \mu\text{m/mL}$ ou 10^4 m/g MLSS est acceptée comme une ligne entre les boues activées en état de gonflement et en état de non-gonflement. Pourtant, la valeur de la longueur totale des filaments allongés ou l'abondance des filaments n'implique pas nécessairement un IVB élevé ainsi qu'une décantation et une compaction de mauvaise qualité, ce qui était montré dans les essais de WANNER (1994) réalisés dans un réacteur biologique séquentiel.

2.3.3 Effets des propriétés physico-chimiques du floc sur la décantation

La décantation de la boue est conditionnée par la structure physico-chimique des flocs de boues activées. D'après URBAIN et coll. (1993), ces flocs sont des agrégats chargés négativement et constitués de micro-organismes, particules inorganiques (phosphate de calcium, silicate et oxyde de fer), polymères extracellulaires (PEC) et de cations polyvalents (Figure 2.3).

Les PEC sont d'une part sécrétés par des micro-organismes (polysaccharides, glycocalyx; lipides; protéines), d'autre part juste présents dans l'eau usée (cellulose, acide humique). Ce matériel flocculant peut être facilement extrait des boues activées et il consiste en la portion importante du poids sec de la boue, soit jusqu'à 10 %. Les PEC ne sont pas des matériaux de réserve et comme tels, ils ne peuvent pas subir facilement la décomposition (GRAY, 1990).

On a déjà souligné leur importance dans la floculation de la boue (TENNEY et STUMM, 1965; BUSCH et STUMM, 1968; FORSTER, 1971; PAVONI et coll., 1972). Portant des cations

polyvalents et se liant aux sites chargés négativement, ils forment des ponts et amènent la floculation. Ils sont aussi capables de contribuer à la formation des flocs par l'enchevêtrement physique, les liaisons hydrogènes ou hydrophobes (FORSTER et DALLAS-NEWTON, 1980).

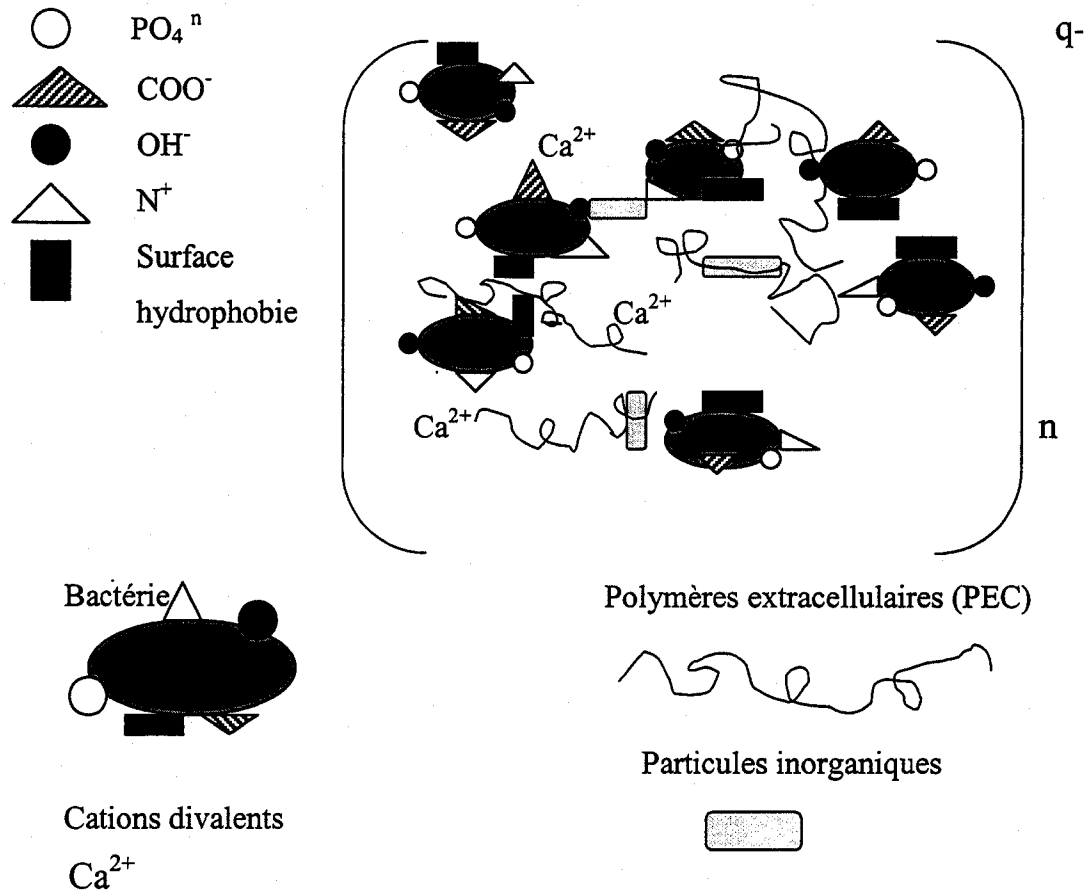


Figure 2.3 : Représentation schématique d'un floccule de boue activée dans une échelle arbitraire de taille (URBAIN et coll., 1993, p. 830).

L'augmentation de la quantité de PEC à un certain niveau est favorable pour la floculation et ainsi, pour la décantation. Au-dessus de ce niveau, les effets de dispersion sont présents, particulièrement si les PEC sont hydrophiles et très chargés (ERIKSSON et HÄRDIN, 1984).

Plusieurs travaux sont orientés vers l'étude du rôle joué par ces divers polymères à haut poids moléculaire et par les cations polyvalents sur la décantation de la boue (FORSTER, 1971, 1985a et 1985b, FORSTER et DALLAS-NEWTON, 1980; MAGARA et NAMBU, 1976; ERIKSSON et HÄRDIN, 1984; URBAIN et coll., 1993).

Les constituants extracellulaires sont reliés positivement avec l'IVB. URBAIN et coll., (1993), ont décrit la décantation des boues par un modèle mathématique opposant les polymères extracellulaires (PEC) à l'hydrophobicité interne. Ce modèle montre qu'une somme élevée de PEC a une influence négative sur la décantation de la boue. Par contre, l'IVB est amélioré par un accroissement de l'hydrophobicité interne du floc. Dans les boues activées présentant une structure très hydratée, les liaisons hydrophobes internes sont comprises dans le mécanisme de floculation et leur équilibre avec les liaisons hydrophiles détermine les propriétés de décantation des boues (JORAND et coll., 1994). URBAIN et coll. (1993) suggèrent que la surface hydrophobe entre les cellules réagisse comme un adhésif essentiel dans la structure du floc.

En raison de l'impossibilité de faire la corrélation entre la teneur en carbohydrate et l'IVB, ANDREADAKIS (1993) estime que c'est plutôt la propriété que la quantité de PEC qui influence la décantabilité des boues activées.

Puisque la surface bactérienne, les PEC et les particules inorganiques éventuelles assurent les sites négatifs d'adsorption, le rôle des cations divalents sur la floculation et ainsi sur la décantation des boues activées doit être souligné. Ces cations divalents, tels que le calcium Ca^{2+} et le magnésium Mg^{2+} sont inclus dans la structure chimique des agrégats bactériens (ERIKSSON et ALM, 1991) en raison de leur capacité de liaison avec des groupes chimiques chargés négativement. Ils ont probablement une affinité spécifique pour chaque sorte de polymères extracellulaires. À l'intérieur de la matrice organique des floes, les cations divalents réagissent comme les agents de pontage, ce qui est supporté par de nombreuses recherches (ERIKSSON et ALM, 1991; URBAIN et coll., 1993; SANIN et VESILIND, 1996). FORSTER et LEWIN (1972) ont démontré l'affinité de pontage plus élevée de Ca^{2+} que de magnésium Mg^{2+} sur les PEC extraits de la boue activée. FORSTER (1985b) a supposé que la taille des ions puisse influencer la capacité de pontage aux groupes chargés (carboxyle) et non chargés (hydroxyle).

sur les PEC. Puisque les ions de calcium sont plus grands que ceux de magnésium, leur pontage pourrait être favorisé. SANIN et VESILIND (1996), lors d'essais visant à produire la boue activée synthétique, ont montré une formation de floc plus rapide pour une concentration de calcium plus élevée. La concentration plus élevée de calcium et d'alginate a toujours assuré une plus faible turbidité, ce qui indique une meilleure capacité de formation du floc.

Dans les stations de boues activées, les autres particules, particulièrement les particules inorganiques lourdes, sont capturées dans la matrice tridimensionnelle en plus des bactéries. Le rôle de ces particules inorganiques est important en biofloculation puisqu'elles permettent la formation de floccs plus lourds. Ainsi formés, ils entraînent l'amélioration des propriétés de décantation des boues activées (WANNER, 1994).

MAGARA et NAMBU (1976) ont étudié l'influence de propriétés physiques sur la décantation des boues. Ils ont établi une relation entre la charge organique et les propriétés physiques comme la taille, la densité et la vitesse de décantation. Les résultats ont montré que la plus importante caractéristique influençant la valeur de l'IVB est la densité du floc. Malgré l'augmentation du diamètre du floc, la diminution de sa densité avec l'augmentation de l'IVB entraîne une baisse de la vitesse de décantation des boues. L'augmentation de l'IVB et la diminution de la vitesse de décantation sont accompagnées par l'augmentation de la charge organique.

2.3.4 Micro-organismes impliqués dans la décantation

Le phénomène de la décantation des boues activées est très complexe en raison des nombreux facteurs qui influencent le développement des différentes espèces de micro-organismes. Selon le taux de croissance (μ), la résistance à la disette, l'affinité pour le substrat ou l'oxygène on peut distinguer trois groupes de bactéries impliquées dans la décantation des boues activées (CHIESA et IRVINE, 1985). La Figure 2.4 représente les courbes de Monod relatives à chacun de ces trois groupes.

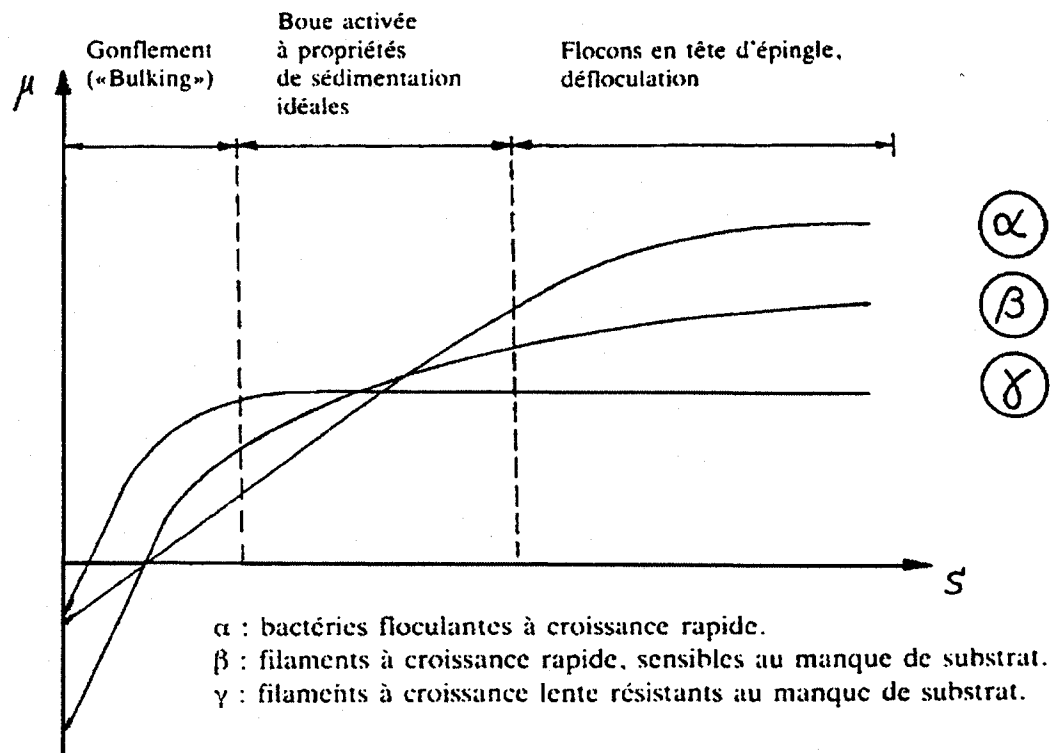


Figure 2.4: Les trois groupes de bactéries impliquées dans la sédimentation des boues activées (EDELIN, 1993, p. 131).

a) Groupe α

Dans le groupe α , on trouve des formeurs du floc comme les espèces *Zoogloea ramigera*, *Citrobacter*, *Flavobacterium breve*, *Pseudomonas stutzeri*. Ces espèces ont tendance à s'agglomérer en produisant une matrice gélatineuse composée d'exopolymères floculants. Cette matrice montre une résistance mécanique et une stabilité chimique considérables. L'augmentation de densité ainsi créée favorise la décantation. Les organismes de ce groupe ont un taux de croissance élevé, l'affinité pour le substrat élevée et la résistance élevée à la disette.

Dans le passé, *Zoogloea* spp. était considérée comme un formeur de flocs unique dans la biocénose des boues activées. Le genre *Zoogloea* ne représente pourtant pas uniquement des formeurs de flocs. Les colonies zooglées muqueuses présentent des différences morphologiques,

ramifiées (*fingered*) (connues sous le nom *Zoogloea ramigera*) ou amorphes (*Zoogloea uva*). Ces colonies produisent toujours une grande quantité des biopolymères dont l'excès peut causer une mauvaise décantation des boues activées (gonflement gélatineux).

b) Groupe β

Les filaments à croissance rapide et à l'affinité élevée pour l'oxygène constituent le groupe β . Ils ne possèdent pas les réserves cellulaires ni externes ni internes et comme tels ils sont sensibles au manque de substrat. Ces organismes tels que *Sphaerotilus natans*, type 1701 et type 021 N, sont associés à une charge organique élevée (CHIESA et IRVINE, 1985) et sont favorisés par la concentration faible de l'oxygène dissous dans le bassin d'aération.

c) Groupe γ

Dans le groupe γ , on a des filaments à croissance lente dont l'affinité est élevée pour le substrat (la valeur faible de la constante de demi-vitesse, K_s). Ce sont les filamenteuses les plus dangereuses, dont un grand nombre ont été répertoriées (EIKELBOOM et BUIJSEN, 1981): *Haliscomenbacter hydrossis*, *Nocardia* et *Microtrix parvicella*. Ce dernier n'a pas la capacité de produire des floculants polycationiques mais il possède une réserve interne de substrat sous forme de PHB (poly- β -hydroxybutyrate) ce qui lui donne la résistance à la disette. Ces organismes ont un avantage compétitif par rapport aux autres groupes de micro-organismes sous des conditions de faibles concentrations en substrat, en oxygène dissous et en nutriments. On les trouve dans le système à l'âge des boues élevées où la période de métabolisme endogène est prolongé.

Les organismes filamenteux sont absolument nécessaires pour la formation d'un floc de boue stable (URBAIN et coll., 1993). A ce propos, la présence des filaments constitue une épine dorsale sur laquelle les formeurs de flocs s'attachent par leurs polymères extracellulaires, ce qui augmente la résilience du floc. Pourtant, un excès de ces micro-organismes aggrave les propriétés de décantation et de l'épaississement des boues activées entraînant le gonflement des

boues. Les micro-organismes exercent une influence négative sur la décantation et l'épaississement des boues de deux façons :

1. en produisant une structure très diffuse et ouverte, ce qui entraîne l'accumulation de l'eau dans les boues ;
2. en se projetant hors des floccs, dans la masse liquide, empêchant l'agglomération des particules et les liant à distance.

Concernant la décantabilité, les boues activées idéales, soit des boues décantant rapidement en laissant le surnageant clair et produisant une couche épaisse des boues décantées, contiennent une proportion équilibrée de ces trois catégories d'organismes. Le déséquilibre cause un des problèmes de la décantation des boues.

Les valeurs typiques de μ_m et K_S sont plus faibles pour les bactéries filamenteuses par rapport aux formeurs de floc. Le principal désavantage des formeurs de floc sous des conditions de faible concentration du substrat, en raison de la valeur élevée de K_S , peut être surmonté par l'augmentation du taux spécifique maximum (μ_m), ce qui pourrait se réaliser dans certaines configurations du procédé, comme en introduisant une zone ayant un gradient élevé de concentration du substrat.

De plus, CHIESE et IRVINE (1985) soulignent que les organismes filamenteux ont la capacité d'entrer en compétition avec les formeurs de floc pas seulement avec la croissance (l'utilisation du substrat), mais par l'affinité pour l'oxygène et par la résistance à la disette. Plus tard, SHAO et JENKINS (1989) ont confirmé que la résistance à la disette est un facteur important dans la sélection cinétique entre les formeurs de floccs et des filamenteuses. Ils ont conclu que les formeurs de floc peuvent mieux survivre dans un système où la boue activée est exposée à une concentration du substrat élevée lors d'une période de temps courte suivie d'une période de temps prolongé du métabolisme endogène (disette). Ces conditions défavorisent le développement des organismes filamenteux en raison de leurs besoins élevés en énergie pour la maintenance et de leur manque des produits de stockage intracellulaire pendant la période de la respiration endogène.

La classe dominante des micro-organismes dans un système à boue activée est donc fonction de la concentration en substrat dans le réacteur, soit la charge organique, de la concentration en oxygène dissous et de la configuration du procédé.

PALM et coll. (1980) ont examiné deux facteurs opératoires, la charge organique et la concentration d'oxygène dissous, ayant une influence importante sur le développement des micro-organismes filamenteux dans le système des boues activées à mélange complet. Plus la charge organique est élevée, plus la concentration en oxygène dissous nécessaire pour prévenir leur croissance est importante. En effet, les conditions de concentration élevée en substrat et de faible concentration en oxygène dissous favorisent les filaments à croissance rapide et l'affinité élevée pour l'oxygène dissous, ce qui altère les propriétés de décantation de la boue (CHIESA et IRVINE, 1985). Le gonflement de la boue ainsi causé peut être éliminé par l'augmentation de la concentration d'oxygène dissous (PALM et coll., 1980; CHIESA et IRVINE, 1985).

CHIESA et IRVINE (1985) abordent l'influence de la configuration du procédé sur la sélection des organismes impliqués dans la décantabilité des boues activées. Les réacteurs à alimentation intermittente assurent des conditions défavorables pour les deux groupes d'organismes filamenteux et des conditions favorables pour les micro-organismes ayant un taux d'assimilation du substrat et la résistance à la disette élevée. L'importance de cette propriété sera soulignée dans les sections 2.3.6.g et 2.3.7.

Les populations de protozoaires jouent aussi un rôle important sur la décantation des boues activées. Elles contribuent au processus de formation de floccs en s'alimentant de cellules individuelles ou en produisant un certain type de bio-polymères. L'établissement des populations de protozoaires est conditionné par l'âge de la boue (θ_c). Les protozoaires n'apparaîtront que lorsque l'âge de la boue sera suffisamment élevé (EDELIN, 1993).

2.3.5 Problèmes possibles concernant la décantation

Les problèmes de décantation des boues activées peuvent être classifiés en six groupes principaux (WANNER, 1994) :

- défloculation (ou croissance dispersée),
- microflocs (*pinpoint flocs*),
- gonflement gélatineux,
- flottation de boue,
- gonflement filamenteux, et
- formation de mousse causée par des organismes filamenteux.

Les trois premiers problèmes sont reliés à la structure et à la composition des floccs. Ils sont causés, en général, par la production insuffisante ou excessive des biopolymères. Les deux derniers problèmes se manifestent par une surabondance d'organismes filamenteux dans les boues activées. La flottation des boues n'est pas reliée à la formation inefficace de floccs et elle ne gêne pas la décantation de la boue. Pourtant, elle présente un problème en raison de son impact négatif sur la concentration de la biomasse dans l'effluent secondaire.

Dans ce qui suit, nous allons présenter les notions principales concernant chacun de ces problèmes.

a) Défloculation ou croissance dispersée

La croissance dispersée se produit en raison de la production insuffisante de biopolymères extracellulaires. Dans ce cas, les micro-organismes présents sous forme de cellules individuelles ne sont pas capables de former des agrégats. Restant en suspension dans la phase liquide du décanteur, ils sont ensuite enlevés par l'effluent final, ce qui induit l'échec d'opération entière en raison de la diminution rapide des matières volatiles en suspension, MLVSS.

La production insuffisante des biopolymères peut être induite par deux causes. La première cause possible est la concentration élevée des substrats facilement dégradables (la charge

organique élevée). Sous ces conditions, les cellules bactériennes ne sont pas forcées à la synthèse des biopolymères. PIPES (1979) suggère qu'une charge organique spécifique supérieure à 0,4 kg DBO₅/(kg MLVSS) j⁻¹ a tendance à favoriser la défloculation. La deuxième cause est la présence de certains composés toxiques ou inhibiteurs dans l'eau usée qui peuvent bloquer la synthèse de biopolymères.

La défloculation peut être causée par une faible concentration en oxygène dissous, un faible pH faible ou le choc organique. Elle n'est pas un problème typique dans les stations conventionnelles ou les stations conçues pour l'enlèvement d'azote en raison de son apparition avec l'âge des boues, θ_c , de 1-3 jours (WANNER, 1994).

b) Formation des microflocs (*pinpoint flocs*)

Ce phénomène est causé par la désintégration des floccs formés ultérieurement. Lors de la décantation, les gros floccs décantent rapidement et exercent un IVB très faible. Pourtant, le surnageant est turbide en raison de la présence de petits floccs, compacts et sphériques qui décantent très lentement (PIPES, 1979; PALM et coll., 1980). Ainsi, une fraction importante de la biomasse totale reste dans ces particules non-décantées.

Il semble que la raison principale de désintégration des floccs est l'âge des boues extrêmement élevé, ce qui est complètement opposé aux raisons de la croissance dispersée (WANNER, 1994). Dans ce cas, des floccs sont continuellement exposés à une faible concentration des substrats exogènes (le métabolisme endogène). Sous ces conditions, les polymères extracellulaires sont utilisés comme source du carbone et d'énergie, ce qui amène à la destruction de la matrice polymérisée.

Pourtant, les *pinpoint flocs* sont aussi observés dans les systèmes à âge des boues moyen. Dans ce cas, l'explication est basée sur la théorie de l'ossature filamenteuse. Selon JENKINS et coll. (1986) et SEZGIN et coll. (1978), la formation des microflocs est due à un défaut de la macrostructure. Quand les organismes filamenteux disparaissent de la biocénose des boues

activées, les gros floccs du second niveau perdent leur ossature pour ensuite être désintégrés en floccs du premier niveau possédant une microstructure fragile. La conséquence instantanée de cette désintégration est la turbidité élevée dans le décanteur.

L'augmentation des microflocs dans l'effluent est typique pour les systèmes à faible charge avec les aérateurs mécaniques superficiels. Aussi, les périodes courtes de formation importante des microflocs sont observées après les chocs avec les composés toxiques ou après le manque important d'oxygène ou de nutriments. Toutefois, les mêmes facteurs peuvent causer des problèmes complètement opposés avec une production excessive des PEC.

c) Gonflement gélatineux

Dans ce cas, le problème de compaction des boues, introduit par la présence abondante des colonies hydratées des zooglées, est similaire à celui causé par des filamenteuses. Ces micro-organismes, produisant une grande quantité de biopolymères, augmentent la viscosité des boues. Étant donné que des biopolymères sont des colloïdes hydrophiles, la boue activée possède une capacité élevée de rétention d'eau, et comme telle montre des vitesses de décantation et de compaction assez faibles (SEZGIN et coll., 1978; JENKINS et coll., 1986).

La croissance des colonies zooglées dans la boue activée est toujours reliée à la présence de substrats facilement biodégradables, particulièrement les acides gras volatils et à un gradient de concentration élevé de ces substrats (GRAY, 1990).

d) Flottation des boues

La nature de ce phénomène est la dénitrification endogène dans les couches décantées des boues activées. En raison de la concentration élevée de biomasse, l'oxygène dissous de l'aération précédente est rapidement épuisé, ce qui établit des conditions anoxiques et amène à la dénitrification. Les bulles d'azote, libérées lors de la dénitrification, rencontrent les particules

des boues et les amènent à la surface du décanteur. Ce problème peut être surmonté efficacement par le temps de rétention inférieur à une heure dans le décanteur et par une concentration en nitrates au-dessous de la concentration critique de 6-8 mg/L ($\text{NO}_3\text{-N}$) (GRAY, 1990).

e) Gonflement filamenteux

Le gonflement filamenteux est un phénomène qui se manifeste par le développement exagéré des bactéries filamenteuses dans la biocénose ce qui donne une boue de faible densité qui se dépose lentement avec un IVB supérieur à 150 mL/g (PIPES, 1979). Le problème majeur associé au gonflement des boues est l'épaississement insuffisant dans le décanteur, ce qui rend difficile le maintien de la concentration de MLVSS désirée dans le bassin d'aération.

Les causes principales du gonflement des boues comprennent une faible concentration en oxygène dissous, la faible charge organique dans les systèmes complètement mélangés, la composition de l'eau usée, la déficience en nutriments et le pH faible (moins de 6,5) (GRAY, 1990). La dominance des organismes filamenteux dans le bassin d'aération se produit sous des conditions particulières du milieu comme le manque de substrat, d'oxygène dissous ou des nutriments essentiels comme l'azote et le phosphore. On a suggéré que ce soit en raison de leur rapport A/V (le rapport d'aire superficielle et du volume des filaments) élevé, que le développement des filaments aux dépens des formeurs de floc est maximisé sous ces conditions.

f) Formation de mousse causée par des organismes filamenteux

La formation de mousse est induite par la croissance excessive de certains types d'organismes filamenteux de genre *Nocardia* qui attrapent des bulles d'air et commencent à flotter à la surface du bassin. La biomasse capturée dans la mousse peut compter pour 30-50% de la biomasse totale (GRAY, 1990). Ces organismes produisent les matériaux extracellulaires (lipides, protéines, carbohydrates) qui possèdent les propriétés des surfactants et ils sont extrêmement hydrophobes.

La présence abondante des cellules hydrophobes peut induire des problèmes dans le traitement des boues, particulièrement lors de la digestion.

Cette formation de mousse dans les boues activées doit être distinguée de la formation de mousse causée par la concentration élevée des surfactants dans l'eau usée, comme la graisse, l'huile, etc.

Les causes de la croissance excessive des espèces de *Nocardia* ne sont pas bien connues. PIPES (1979) indique la charge organique élevée et l'âge des boues supérieur à 9 jours comme les facteurs possibles qui causent ce problème.

2.3.6 Facteurs influençant la décantation des boues activées

La décantabilité des boues activées est une caractéristique très variable, reliée fortement à la structure et la nature du floc, qui dépend des conditions qui dominent dans le bassin d'aération. On a déjà signalé que l'établissement des espèces microbiennes différentes dans la biocénose des boues activées, et ainsi les propriétés de décantation, dépendent premièrement de la concentration du substrat (la charge organique), de la concentration de l'oxygène dissous dans le bassin d'aération et de la configuration du système. Mais plusieurs autres facteurs ont de l'impact sur la décantation des boues activées, comme les facteurs opératoires tels l'âge des boues ou les facteurs environnementaux, ainsi que la nature et la composition du substrat, la présence de nutriments et de micro-nutriments, la température, le pH, etc.

a) **Nature et composition du substrat**

L'activité biologique des floes des boues activées et ainsi les propriétés de décantation sont affectées par la composition de l'eau usée. Les systèmes à boues activées sont sensibles aux fluctuations de la composition organique de l'eau usée, ce qui affecte sérieusement les caractéristiques des boues et l'IVB. En particulier, le substrat, sous forme d'hydrates de carbone à poids moléculaire faible, favorise la croissance des bactéries filamenteuses, ce qui induit

l'augmentation rapide de l'IVB (GRAY, 1990). CHUDOKA (1985) affirme que les eaux usées contenant des saccharides tels que glucose, saccharose, lactose et maltose induisent presque toujours des problèmes sérieux de gonflement des boues. Il souligne que la croissance des bactéries filamenteuses dans un réacteur à mélange complet n'est pas toutefois tellement favorisée par la présence du galactose comme par la présence du glucose. Au contraire, les eaux usées de textile et de lavage ne provoquent pas une croissance excessive de filamenteuses dans aucun système à boues activées. La présence de détergents peut causer la formation d'une couche épaisse de mousse sur la surface et à l'intérieur du réacteur ce qui rend l'opération difficile en raison de la perte de la biomasse. La concentration de sulfures au-dessus de 1 mg/L cause l'apparition des micro-organismes filamenteux, en particulier *Thiotrix*, qui altèrent la décantation par le gonflement de boue et formation de la mousse (ECHEVERRIA et coll., 1992).

HIGGINS et NOVAK (1995) relèvent que l'équilibre cationique dans l'affluent de boues activées a un effet significatif sur les propriétés de décantation et de conditionnement. Les cations divalents présents dans l'eau usée s'incorporent à l'intérieur de la matrice biopolymérique formant un floc dense qui est plus résistant au cisaillement, ce qui améliore la décantation. La concentration élevée de cations monovalents a, au contraire, un impact négatif sur la décantation. Le rapport de sodium sur les cations divalents supérieur à deux, induit de mauvaises caractéristiques de décantation des boues activées (HIGGINS et NOVAK, 1995). Les propriétés de décantation pourraient ainsi être améliorées par l'ajustement de l'équilibre cationique.

b) Carence en nutriments

Dans la situation des rapports DBO/N et DBO/P élevés, les bactéries filamenteuses sont capables d'emmagasinier les nutriments essentiels de façon qu'elles puissent les utiliser lors de périodes de manque en nutriment (GRAY, 1990). Cette propriété leur donne un avantage compétitif par rapport aux bactéries formeur de floc. PIPES (1979) suggère un rapport DBO/N/P de la valeur de 100/5/1 pour éviter le gonflement des boues activées.

c) Température

La température dans le bassin d'aération exerce une influence importante sur la nature biochimique et physiologique des floccs de boues activées et ainsi, sur les propriétés de décantation. En effet, la température influence les taux des réactions, l'adsorption de soluté, la viscosité de l'eau usée, etc.

La décantabilité des boues activées, évaluée en terme de la VDZ et de l'IVB, diminue avec l'augmentation de la température (ÇETIN et SÜRÜCÜ, 1990). Une augmentation de la température dans le bassin d'aération induit une augmentation de l'IVB et la diminution de la VDZ. Altérant la structure des protéines et des lipides, la température cause le changement de la structure de la membrane cellulaire. Cet effet a un impact sur la structure et le fonctionnement des PEC ce qui résulte en une faible capacité de floculation et de décantation sous des conditions de température élevée. De plus la viscosité des matériaux extracellulaires devient plus faible ce qui peut empêcher la biofloculation.

d) Aération et concentration en oxygène dissous

L'aération des boues activées peut affecter la décantabilité de boues activées de deux façons. Premièrement, une faible concentration en oxygène dissous favorise les bactéries filamenteuses ce qui induit l'apparition de gonflement ou foisonnement des boues activées. Deuxièmement, l'aération exagérée peut causer le bris des gros floccs.

La profondeur de diffusion de l'oxygène dans le flocc dépend de la concentration de l'oxygène dans le liquide. Pour une faible valeur de cette concentration, une grande partie du flocc est en condition anoxie ou anaérobie. Quand la concentration de l'oxygène dans le liquide est faible (au-dessous de 0,2 mg/L), les filaments, relativement fins, sont mieux approvisionnés par l'oxygène que les floccs ayant un diamètre de 100-400 µm. Ce principe explique la prédominance des bactéries filamenteuses sous ces conditions (SEZGIN et coll., 1978; PALM et coll., 1980).

Pour empêcher la croissance filamenteuse excessive, PIPES (1979) recommande que la concentration minimale de 2 mg O₂/L soit maintenue dans les systèmes à boues activées nitrifiantes. Pourtant, l'étude de PALM et coll. (1980) démontre que cette concentration minimale nécessaire pour empêcher le gonflement des boues activées augmente avec l'augmentation de la charge organique.

e) pH

L'augmentation du pH dans le réacteur induit une augmentation de la VDZ et une diminution de l'IVB, ce qui est relié à la fonction des PEC dans la biofloculation (ÇETIN et SÜRÜCÜ, 1990). Ces polymères sont anioniques et non-ioniques pour la plupart des valeurs du pH. La bactérie a un pH isoélectrique d'environ 2,0. L'addition d'anions au-dessus du point isoélectrique bactérien augmente le nombre des sites réactifs sur les PEC et sur les surfaces bactériennes. L'augmentation du pH au-dessus de point isoélectrique induit aussi l'allongement des chaînes polymériques qui deviennent alors suffisant pour faire le pontage entre les cellules.

f) Charge organique

La relation entre la charge organique spécifique (F/M) et la décantabilité des boues dépend de facteurs variés tels que la configuration du système et les propriétés des eaux usées. C'est pourquoi différentes relations sont envisagées dans diverses études. TOMLINSON (1982) a fait un sommaire de toutes ces relations (Figure 2.5). Pourtant, on rapporte que des valeurs entre 0,2-0,45 kg DBO₅/(kg MLVSS) j⁻¹ n'ont pas d'influence négative sur la décantabilité des boues (GRAY, 1990). Les valeurs supérieures ou inférieures causent le gonflement. Mais, la valeur critique de la charge organique responsable du gonflement de boue dans un réacteur à alimentation intermittente est deux fois plus grande que celle dans un réacteur à mélange complet (TOMLINSON et CHAMBERS, 1979).

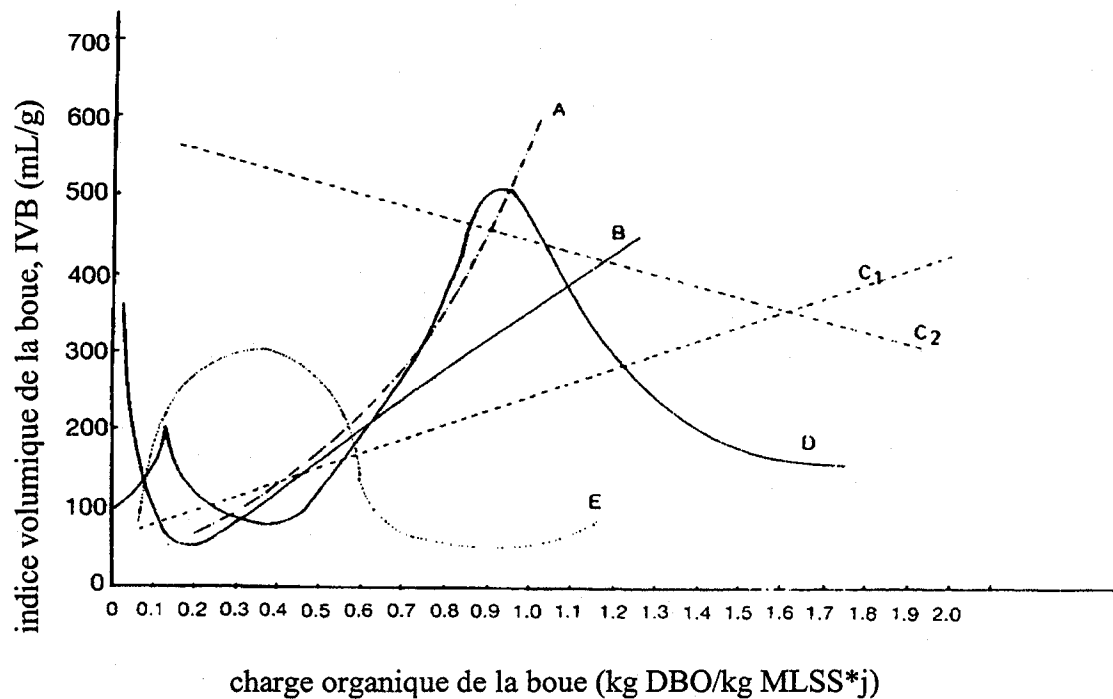


Figure 2.5: Corrélation entre la charge organique spécifique (F/M) et la décantabilité des boues (GRAY, 1990, p. 213).

La charge organique spécifique a aussi une influence importante sur la fréquence de l'apparition des particules primaires ($<2 \mu\text{m}$) dans la liqueur mixte (LI et GANCZARCZYK, 1993). Une charge organique spécifique trop élevée peut causer la diminution du nombre de gros floccs et l'augmentation du nombre des petits floccs. Cet effet peut être relié à la présence des PEC dans le système. Selon l'étude de PAVONI et coll. (1972) la production des PEC est plus faible pour une charge organique élevée. Étant donné que ces biopolymères sont un des facteurs primaires pour favoriser la biofloculation, cette diminution de leur production pourrait induire le changement de la distribution de taille du flocc en réponse à la variation de la charge organique.

g) Configuration du procédé

Le degré de dispersion hydraulique influence aussi les propriétés de décantation. Sa réduction améliore la décantabilité (CHAMBERS, 1982). En effet, cette réduction diminue l'avantage compétitif des filamenteuses par rapport aux formeurs de flocc en raison du rapport d'aire

superficielle sur le volume (A/V) élevé ces dernières, ce qui rend les filamenteuses plus efficaces sous des conditions de concentrations faibles en substrat, oxygène dissous et nutriments.

Les configurations particulières telles que le réacteur à écoulement en piston, le réacteur à opération séquentielle et le sélecteur stimulent le taux spécifique de croissance des formeurs de floc au point qu'il est plus élevé que celui des filamenteuses, même pour une faible concentration de substrat (CHUDOBA, 1985). Donc, l'utilisation de ces configurations assure l'avantage compétitif des formeurs de floes par rapport aux filamenteuses pour n'importe quelle concentration de substrat.

h) Âge de la boue

Prenant en compte les considérations présentées antérieurement, on peut conclure que le taux de croissance a un effet direct sur la décantabilité des boues activées. LAWRENCE et McCARTY (1970) ont montré que la valeur inverse de l'âge de la boue (θ_c) est égale au taux spécifique de la croissance (μ) en régime permanent. Ainsi, les caractéristiques de décantation peuvent être influencées par l'âge de la boue.

Ce paramètre opératoire a un grand impact sur la distribution des différents micro-organismes dans la boue activée, soit sur la compétition entre les formeurs de floes et les filamenteuses. Un faible âge de la boue peut induire le lessivage («washout») des espèces ayant un taux de croissance net plus faible que le taux de dilution, alors qu'une valeur élevée de l'âge de la boue favorise la croissance des espèces à croissance lente. Pourtant, un âge de la boue extrêmement élevé peut aussi empêcher la domination de ces dernières. On doit souligner que l'effet de ce facteur sur la composition de la biocénose est fortement dépendent de la température. L'impact négatif de l'âge de la boue sur les micro-organismes à croissance lente est plus prononcé sous les conditions de température faible (WANNER, 1994).

L'âge de la boue exerce aussi une influence sur l'établissement de la population de protozoaires qui peut être impliquée dans la décantation des boues activées (voir la fin de la section 2.3.4).

Pour un âge de la boue trop faible les protozoaires n'ont pas la possibilité de s'installer. Dans les installations dont l'âge de la boue est un peu plus élevé ou moyen, on rencontre surtout des *Opercularia*, alors que les rotifères sont présents pour l'âge de la boue très élevé et dans la liqueur mixte bien aérée.

BISOGNI et LAWRENCE (1971) ont étudié l'influence de l'âge de la boue sur des paramètres tels que l'IVB et la VDZ. Les valeurs de l'âge de la boue entre 4 à 9 jours sont jugées comme recommandables. ECHEVERRIA et coll. (1992) ont trouvé que la valeur d'IVB de 125 mL/g était assurée dans l'intervalle d'âge de la boue de 4 à 12 jours.

Ces résultats peuvent être interprétés à la lumière des observations de TENNEY et STUMM (1965) et de BUSCH et STUMM (1968), qui expliquent la floculation des micro-organismes dans le traitement biologique par une interaction des PEC naturels excrétés par les micro-organismes, plutôt pendant la phase de respiration endogène. Quand l'âge de la boue augmente, la concentration de ces polymères augmente premièrement jusqu'au niveau où la floculation est meilleure soit jusqu'à la phase endogène de la croissance. Mais si le floc est exposé à une valeur d'âge de la boue extrêmement élevée, la floculation et ainsi la décantation efficace sont empêchées, soit en raison de la destruction de la matrice polymérisée par l'utilisation des PEC comme source de carbone et d'énergie ou par l'absence de pontage biopolymérique, soit en raison de l'absence d'organismes filamenteux ce qui induit la disparition de la macrostructure (WANNER, 1994).

D'autre part ANDREADAKIS (1993) relève, pour l'âge de la boue très faible de 1,1 jours, une valeur très basse de l'IVB qui augmente cependant dans l'intervalle de 3-5,5 jours. Par la suite, une augmentation de l'âge de la boue (5,5-12 jours) induit la diminution de l'IVB qui ensuite, augmente à nouveau pour des âges de la boue supérieurs à 12 jours.

Ces différents résultats relèvent l'impossibilité d'établir une relation valide entre l'âge de la boue et la décantabilité. Ce n'est pas surprenant en considérant la multitude des facteurs, à part l'âge de la boue, qui peuvent influencer la structure des boues activées.

2.3.7 Décantation de la boue dans un réacteur biologique séquentiel (RBS)

Le réacteur biologique séquentiel (RBS) présente une modification du réacteur batch traditionnel. Il opère en discontinu avec cinq phases bien distinctes : le remplissage, la réaction, la décantation, le soutirage et le repos. L'ensemble des cinq phases représente un cycle opératoire au complet.

Le rapport entre le temps de remplissage et le temps de réaction influence le comportement du réacteur RBS. DENNIS et IRVINE (1979) ont remarqué qu'un remplissage plus rapide provoque un gradient de concentration du substrat qui, à son tour, induit une assimilation rapide et importante du substrat organique. En effet, l'arrivée rapide du substrat crée un surplus temporaire auquel répond la biomasse en augmentant le taux d'assimilation du substrat. Cette augmentation est liée à la capacité des certaines bactéries d'emmagasinier du substrat en quantité proportionnelle à l'excès de ce dernier. Donc, plus le temps de remplissage est court et plus le temps de réaction est long, plus un gradient du substrat est prononcé dans un RBS, ce qui lui confère un comportement qui s'approche d'un écoulement en piston. Inversement, pour un rapport entre le temps de remplissage et le temps de réaction élevé le réacteur RBS se comporte comme un réacteur à mélange complet en continu. Mais dans un RBS le gradient de concentration du substrat se produit dans le temps alors que pour un réacteur en piston il se produit dans le sens longitudinal du réacteur.

L'étude de DENNIS et IRVINE (1979) a montré que le rapport entre le temps de remplissage et le temps de réaction avait une incidence sur la VDZ et sur l'IVB. Le gradient de concentration du substrat pendant la période de remplissage force les micro-organismes à produire une boue floculante qui décante bien. Si le rapport entre le temps du remplissage et le temps de la réaction est inférieur à 1, les boues décantent très rapidement. Antérieurement, RENSINK (1974) a constaté l'importance de ce gradient défavorable à la croissance des organismes filamenteux associés à une mauvaise décantation. Cependant, les caractéristiques de décantation des boues ne sont pas uniquement fonction de ce paramètre. La nature du substrat, l'âge de la boue et la charge organique interviennent également.

IRVINE (1977) a trouvé un autre paramètre qui améliore la décantation. C'est l'introduction d'une période anoxie pendant une portion de la période de remplissage, dont résulte une amélioration de la qualité d'effluent et de la compaction de la boue. L'étude de CHIESA et coll. (1985) montre que l'IVB dans un réacteur biologique séquentiel est directement relié à la période d'aération pendant le remplissage. D'après eux, cette période pourrait être nulle et même sans mélange ce qui maintient l'IVB à moins de 100 mL/g et ce qui semble correct. Mais, antérieurement, en expérimentant différentes stratégies de remplissage, BORGATTI (1981) avait noté que sans aération ni mélange pendant cette période, les boues produites décantent très rapidement (IVB inférieur à 70 mL/g), mais sans floculation adéquate car les organismes filamenteux sont absents ce qui cause l'apparition du *pinpoint* floc. Il semble préférable de favoriser un remplissage avec mélange et aération partielle pour améliorer la qualité de la décantation de boue en développant un juste équilibre entre les organismes filamenteux et non filamenteux.

Dans un RBS les micro-organismes subissent à chaque cycle des conditions fortement variables allant de la phase en excès de substrat et se terminant en phase de respiration endogène en fin de réaction, ce qui favorise la capacité d'emménagement du substrat sous forme de glycogène par les bactéries. Ce mode d'opération implique le développement de souches bactériennes spécifiques à ce cycle de surplus/disette. Cette spécificité a une grande importance lors de la décantation de la boue et elle est soulignée par CHIESA et coll. (1985). Ils ont montré que des réacteurs à alimentation intermittente peuvent contrôler le développement de non-filamenteuses par l'équilibre approprié entre les conditions de surplus et de disette en exploitant la faiblesse physiologique des organismes filamenteux. Ces réacteurs ont la capacité d'assurer les conditions qui sont défavorables pour la croissance des deux groupes d'organismes filamenteux. Le nombre de filaments à croissance faible est contrôlé par une concentration de substrat élevée au début de la réaction, étant donné que les filamenteuses de ce type ont un faible taux d'assimilation du substrat lorsque la concentration du substrat est élevée. De plus, la prolifération des filaments à croissance rapide est contrôlée par la période de la croissance endogène (t_{endog}) prolongée. Les conditions de la croissance imposées par le RBS sont favorables pour les micro-organismes avec un taux d'assimilation du substrat et une résistance à la disette élevés, ce qui permet la décantation efficace dans une gamme de charge organique beaucoup plus large par rapport aux

systèmes en continu. Selon CHIESA et IRVINE (1985) le design et l'opération efficace d'un RBS devrait tenir compte de la concentration maximale du substrat dans le réacteur (S_{max}), de la concentration minimale (S_{min}), du temps de la respiration exogène (t_{exog}) et du temps de la respiration endogène (t_{endog}), qui sont nécessaires pour maintenir la pression de sélection favorisant les organismes non-filamenteux (Figure 2.6).

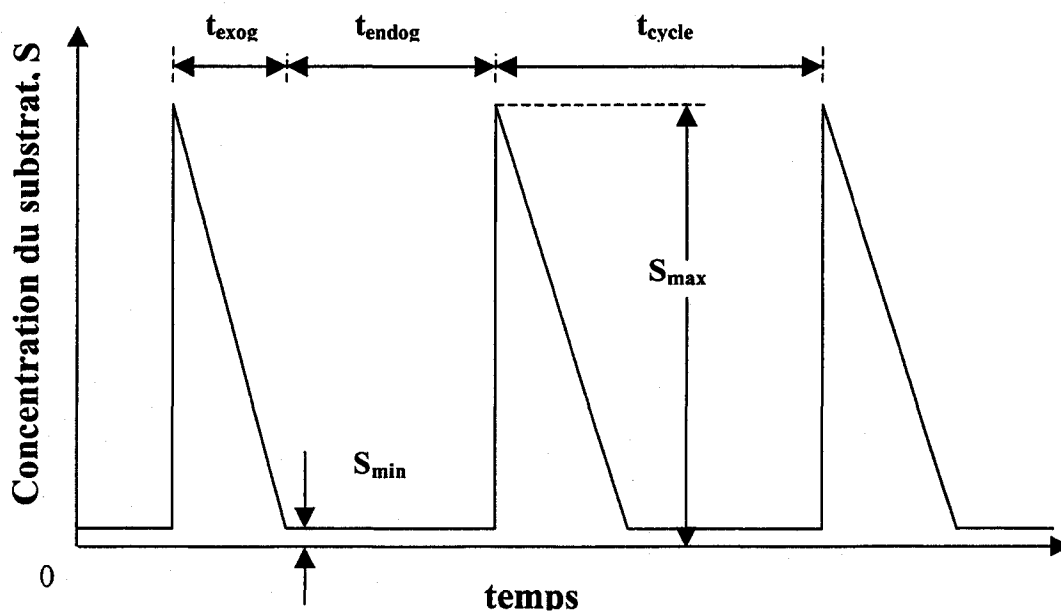


Figure 2.6 : Les caractéristiques du profil du substrat dans un RBS (CHIESA et IRVINE, 1985, p. 476).

Dans des expériences récentes avec un RBS opérant dans le mode anaérobie-oxie, WANNER (1992) observait des propriétés de décantation excellentes avec les valeurs d'IVB loin sous les 100 mL/g, même si l'examen microscopique des boues révélait une fréquence d'apparition des micro-organismes filamenteux qui est typique du gonflement de boue. La raison avancée par Wanner pour expliquer les excellentes propriétés de décantation en présence de la population filamenteuse abondante se trouve dans l'existence de floccs gros et compacts.

Donc, pour l'amélioration des conditions de décantation dans un RBS, le plus souvent on pratique l'optimisation par différentes stratégies d'opérations qui induisent la sélection des micro-organismes ayant des caractéristiques de décantation stables.

Toutefois, ARORA et coll., (1985) ont rapporté que la décantation de boue dans la station RBS à Choctaw, en Oklahoma, était nettement améliorée par rapport à certaines stations en ajoutant un polymère cationique à 1 mg/L, une fois par jour. En dépit de ce résultat, cette possibilité ne s'est pas développée pendant les années suivantes.

2.3.8 Décantation assistée des boues activées

La décantation et la qualité de l'effluent dans un processus à boues activées peuvent fréquemment être améliorées par la floculation chimique entre le bassin d'aération et le décanteur (U.S.EPA, 1975). Jusqu'à présent deux groupes principaux de floculants sont utilisés dans ce but :

- les coagulants inorganiques comme les sels métalliques et la poudre de talc, et
- les polymères synthétiques (cationiques ou une combinaison de polymères cationiques et anioniques).

Le mécanisme de la floculation bactérienne par l'addition des agents chimiques est un phénomène très complexe et mal compris. Deux mécanismes, la neutralisation de charge et le pontage, sont impliqués simultanément. De plus, l'efficacité de la floculation biochimique dépend d'une multitude de facteurs qui sont reliés à la présence des PEC sécrétés par la cellule. Ces facteurs sont principalement le pH, la température, l'âge physiologique, le floculant, le genre bactérien, le milieu ionique et le cisaillement. La présence des PEC peut soit augmenter, soit diminuer le dosage de floculant nécessaire pour l'agrégation cellulaire (MCGREGOR et FINN, 1969).

a) Coagulants inorganiques

L'addition des particules inorganiques pour l'amélioration de la floculation et de la décantation des boues activées a été réalisée en Allemagne, au Japon et aux États-Unis (WANNER, 1994).

Leur action s'explique par l'augmentation du poids spécifique du floc, ce qui induit l'augmentation de la vitesse de décantation des boues activées.

Les flocculants inorganiques les plus utilisés sont les sels métalliques de fer et d'aluminium et la chaux. Les sels métalliques, lorsqu'en faible concentration, ont un effet métabolique sur les micro-organismes dans la boue et on doit attendre un temps de l'ordre d'au moins un âge de boue pour avoir une amélioration importante sur la décantation des boues activées (GRAY, 1990). La floculation est plus prononcée pour les dosages plus élevés qui incorporent l'hydroxyde de métal.

L'addition d'alun au dosage de 200 mg/L a amélioré la floculation des bactéries dispersées ainsi que la décantation dans un système à boue activée sans recirculation de boue (WU, 1978). La floculation et la décantation assistées par alun dépendent des conditions de la croissance. Ainsi sous des conditions de manque de nutriments (N et P) la VDZ est plus faible que pour les cas où ils sont présents en excès. En effet sous les conditions de manque de nutriments les bactéries possèdent une couche polyssacharidique plus importante et la charge électrique superficielle par unité du poids sèche est plus élevée, ce qui exige une quantité de coagulant plus élevée pour la décantation et la floculation (WU, 1978).

En Europe, les sels ferriques et ferreux et la chaux sont ajoutés dans le bassin d'aération pour le contrôle du gonflement des boues. Les dosages effectifs recommandés en Allemagne sont 35 g Fe/(m³ de bassin d'aération) pour les sels ferriques et 10-15 g Ca/m³ pour la chaux (WANNER, 1994). Le contrôle efficace du gonflement des boues activées est aussi réalisé en Autriche (la station de Wien-Simmering) par l'utilisation à long terme de sulfate ferreux (FeSO₄*7H₂O) (WANNER, 1994) au dosage de 7 g Fe/m³.

Au Japon, IYO et coll. (1992) ont étudié la possibilité d'utilisation des ions divalents avec la farine de la tige de maïs (CCF, *corn cob flour*) pour le contrôle du gonflement des boues. Leur étude a montré que les particules de CCF peuvent former les noyaux d'agrégats qui décantent bien. La densité des agrégats s'est accrue par l'addition simultanée d'ions métalliques Ca²⁺. Pourtant, les dosages efficaces (30% par volume de CCF et 200 g/m³ de Ca²⁺) sont trop élevés pour une application économique.

Récemment, une nouvelle direction est apparue afin d'améliorer la décantation des boues activées. C'est la modification de la relation taille-densité-structure du floc par l'addition des particules minérales très fines, soit la poudre de talc (CAPDEVILLE, 1993; CANTET et coll., 1996 ; BIDAULT et coll., 1997). L'addition de ces particules très denses dans le bassin d'aération améliore instantanément la formation de floccs. Les nouveaux floccs ainsi formés sont stables et résistants au cisaillement. Aussi, le talc recirculé stimule l'agrégation de la biomasse et une forte structure du floc (BIDAULT et coll., 1997). Les effets positifs sont observés sur la décantation de boue activée en état de gonflement ainsi que dans le cas d'apparition des microflocs (*pinpoint* floc). De plus, le talc ajouté améliore la déshydratation de la boue (CANTET et coll., 1996). Les atouts principaux pour l'application de ce flocculant reposent sur sa bio-compatibilité, non-abrasivité, l'inertie chimique et la possibilité de création d'un bon équilibre entre l'hydrophobicité et l'hydrophilicité. L'activité spécifique et la croissance bactérienne ne sont pas modifiées par l'ajout de talc. Même pour un rapport de 3 entre le poids du talc et celui de la biomasse, la dégradation DCO/DBO n'est pas changée (CAPDEVILLE, 1993). Par contre, le talc offre un support pour les bactéries et exopolymères représentant jusqu'à 3,000,000 m² par tonne de talc ajouté (BIDAULT et coll. 1997). Étant donné que ce matériel minéral est inerte la boue peut être disposée sur les terrains agricoles.

Le problème majeur associé à l'utilisation des coagulants inorganiques est la production importante de boue, ce qui exige des coûts additionnels pour son traitement et sa disposition. En particulier, l'utilisation des sels métalliques augmente les teneurs des métaux dans les boues ce qui peut éliminer leur potentiel de valorisation.

b) Polymères synthétiques

Les polyélectrolytes sont des flocculants ayant un effet instantané sur la décantation des boues activées. L'addition de certains polymères synthétiques à des doses de 0,2-0,5 mg/L de liqueur mixte, juste avant le décanteur secondaire, peut efficacement réduire le niveau résiduel de MES dans l'effluent final, augmenter la vitesse de décantation des boues et produire des boues bien concentrées au fond du décanteur (GANCZARCZYK, 1983). Par ailleurs, le polymère

synthétique incorporé dans les bioflocs renforce ces derniers et augmente leur résistance au cisaillement (CHURCHILL et RYBACKY, 1977).

Ces polymères synthétiques probablement agissent simultanément par deux mécanismes principaux : le pontage supplémentaire et la neutralisation de charge. Le résultat de leur action est la formation des flocs gros et résistants (STORA, 1988; WEN et coll., 1997).

L'efficacité d'un polymère synthétique dépend de plusieurs facteurs : la température, le degré d'agitation, le pH, l'état physiologique des micro-organismes, la composition de l'eau usée et l'intensité de cisaillement. Les effets de ces facteurs sur la floculation des bactéries par des polymères synthétiques sont probablement reliés à la présence de PEC (MCGREGOR et FINN, 1969; HARRIS et MITCHELL, 1975; ERIKSSON et HÄRDIN, 1987).

PODUSKA et coll. (1979) ont relevé que la dose de polymère nécessaire pour atteindre 40 mg/L de MES dans l'effluent du décanteur augmente avec la diminution de la température dans le bassin d'aération. Le changement du taux de croissance bactérienne induit par la variation de la température a probablement une influence sur la quantité des PEC dans la boue activée.

L'efficacité d'un polymère synthétique à flocculer peut être réduite, dans le traitement des eaux usées de l'industrie alimentaire, là où l'accumulation des PEC présents dans la liqueur environnementale peut altérer la décantation des boues activées (HARRIS et MITCHELL, 1975).

Alors que les exopolymères naturels anioniques ont la capacité de flocculer des bactéries dispersées, les polymères cationiques peuvent assurer une floculation qui induit une décantation améliorée dans un système à boues activées en raison d'une interaction directe entre la biomasse anionique et l'additif cationique (PODUSKA et coll., 1979). Ainsi, jusqu'à présent, les études concernant la décantation de boues activées sont effectuées en utilisant plutôt divers polyélectrolytes cationiques (PODUSKA et coll., 1979; MATSUMOTO et coll., 1980; VANDERHASSELT et VERSTRAETE, 1999). Pourtant, DEMEL et MÖBIUS (1988) ont relevé l'efficacité d'un polymère anionique (polyacrilamide) pour la décantation de boue dans

une station d'épuration de l'industrie papetière. La dose de 0,8 mg/L de ce polymère a réduit l'IVB de 500 à 160 mL/g.

Les recherches les plus intensives dans le domaine de l'utilisation des polymères synthétiques sont réalisées entre 1970 et 1980. PODUSKA et coll., (1979) ont fait les essais d'application des polymères dans une station pilote, après quoi ils sont passés à l'application à grande échelle. Les résultats de cette étude, comme celle de HEINKE et coll., (1980) ont montré que l'addition de polymère accroît l'élimination des matières en suspension (MES) et de la demande biochimique en oxygène (DBO_5) autant que la capacité des décanteurs. De plus, le polymère a stabilisé la qualité de l'effluent concernant les MES. Antérieurement, U.S. EPA, tel que CHURCHILL et RYBACKI (1977) relevaient, a évalué le potentiel de polymères synthétiques dans le traitement biologique des eaux usées municipales et industrielles. L'addition continue d'un polymère cationique au poids moléculaire élevé dans l'affluent d'un décanteur secondaire à dose de 0,4 ppm produisait des résultats efficaces sur la décantation et l'épaississement des boues. Cet épaississement des boues a réduit les coûts de pompage des boues recyclées et soutirées.

Les propriétés physiques des boues activées flocculées par le polymère cationique (polyéthylénamine) ont été étudiées au Japon (MATSUMOTO et coll., 1980). Dans ces expériences, la VDZ et le volume de la boue décantée augmentent avec la quantité de flocculant cationique. De plus les floccs formés par le polymère étaient plus compacts que les floccs naturels de boue activée, ce qui était supporté par la mesure de la densité. Par contre, MATSUMOTO et coll. (1980) trouvent que l'augmentation de la densité n'est pas un facteur primordial pour l'amélioration de la VDZ des boues activées. L'amélioration de la VDZ avec l'ajout de polymère était principalement en raison de l'augmentation de taille des floccs. Mais, l'addition de surplus de flocculant a induit la déflocculation des floccs et diminution de la VDZ et du volume décanté.

Une bonne efficacité, sur la décantation des boues activées, d'un polymère synthétique ayant une charge cationique et poids moléculaires très élevés (Zetag 88 N), est relevé dans l'étude de VANDERHASSELT et VERSTRAETE (1999). Contrairement à la poudre de talc, ses effets bénéfiques ont été temporaires. Dans des échantillons soumis aux cycles répétitifs de l'aération et la décantation, ces effets positifs ont disparu. L'inactivation du polymère a probablement été

le résultat du bris du polymère et la redispersion des floccs pendant la phase d'aération. Pourtant, le dosage adéquat de polymère est un outil efficace pour empêcher la perte des boues dans le décanteur lors d'un choc organique, étant donné qu'il est capable de tripler la VDZ dans ce cas (VANDERHASSELT et VERSTRAETE, 1999). Dans cette stratégie l'utilisation d'un flocculant tel que la poudre de talc, qui a un effet permanent sur une période de temps plus long, peut avoir un effet un peu supérieur. De plus, l'utilisation des polymères synthétiques augmente peu la production des boues par rapport à l'utilisation des sels métalliques.

Dans le WEF Design Manual (WEF, 1992) une dose de polymère cationique inférieure à 1,0 mg/L est recommandée pour l'amélioration de la décantabilité de boues activées. L'addition de polymères dans le décanteur est en général plus efficace pendant l'hiver lorsqu'on a une faible différence de densité entre les floccs de boue activée et l'eau, mais aussi une viscosité de l'eau élevée.

L'utilisation efficace des polymères dans le problème de gonflement des boues activées a fait l'objet de plusieurs essais. Ainsi, le potentiel des polymères sur la décantation de boues lors du gonflement est étudié en laboratoire par SINGER et coll., (1968). Dans ce cas, seuls les polyélectrolytes cationiques pouvaient flocculer efficacement les boues. Pourtant, les boues flocculées une première fois par les polyélectrolytes ont résisté à la nouvelle flocculation après le recyclage. Le dosage optimal dépendait de l'IVB initial et de la concentration de MLSS. SCHWARTZ et POPOWCHAK (1980) ont étudié l'application d'un polymère cationique pour l'amélioration de la décantation de la boue en état de gonflement dans une station de traitement des eaux résiduaires de brasserie. Leur étude a montré que l'addition ponctuelle de polymère cationique de 10 à 20 mg/L est efficace pour le contrôle du gonflement de boue.

Récemment, SHAO et coll. (1997) ont étudié la possibilité d'addition d'un polymère cationique pour la réduction de la formation de la mousse, causée par *Nocardia sp.* Leur étude montre que le dosage de 0,5 mg/L de polymère cationique, le polyacrylate, est efficace concernant ce problème de décantation des boues activées. Dans ce cas le polymère a probablement coagulé les filaments dispersés de *Nocardia sp.* Il les a incorporés dans les floccs de boues activées et ainsi réduit leur capacité de production de la mousse (SHAO et coll., 1997).

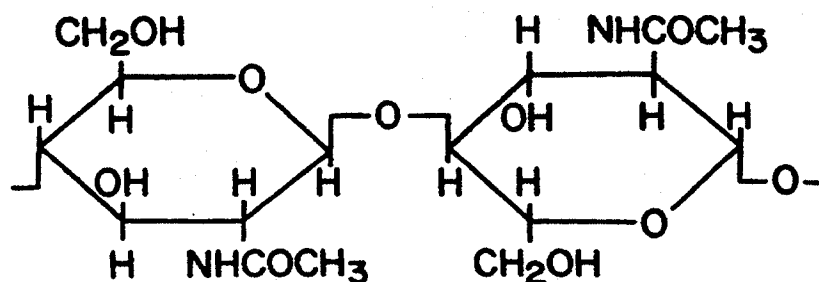
2.4 Le chitosane, un biopolymère

Le chitosane est un biopolymère cationique linéaire produit par déacétylation de la chitine (N-acétyl-D-glucosamine). La chitine est, après la cellulose, le polysaccharide le plus répandu dans la nature. On peut le rencontrer dans la carapace de certains insectes et crustacés marins, et dans les cellules de certains champignons et levures. Aujourd'hui, la principale source de chitosane destinée à une application commerciale et pratique est la carapace de crabes, homards, de crevettes et de langoustes provenant des résidus de l'industrie des fruits de mer (LI et coll., 1992). Pendant longtemps, ces déchets ont été simplement rejetés à la mer créant des problèmes sérieux de pollution au voisinage de l'industrie. Un effort considérable de recherche engagé dans le monde et aux États-Unis plus particulièrement, grâce au soutien de l'EPA et de la Marine Administration afin de trouver les applications potentielles de la chitine et de ses dérivés, du chitosane, a permis de connaître leur propriétés principales.

La chitine est une structure linéaire formée d'unités de N-acétyl-D-glucosamine liées entre elles par des ponts β -1,4 glucosidique. Elle peut être considérée comme un dérivé de la cellulose où les groupements hydroxyles ont été substitués par les groupements acétylés -NHCOCH_3 . Dans la molécule du chitosane les groupes acétylés sont remplacés par des groupes aminés (NH_2) (Figure 2.7).

Le poids moléculaire du chitosane commercial est entre 100.000 et 1.200.000 g/mol (LI et coll., 1992), ce qui le rend visqueux même pour de faibles concentrations. En général des facteurs comme la température élevée, l'oxygène dissous et le cisaillement peuvent induire la dégradation du chitosane. Sous une température dépassant 280°C la dégradation thermique du chitosane se produit et la chaîne polymérique se casse rapidement. L'oxygène dissous peut lentement le dégrader (LI et coll., 1992). Le cisaillement causé par les forces hydrodynamiques peut favoriser le bris de la longue chaîne jusqu'à une longueur critique. Au-dessous de ce point le cisaillement n'affecte plus la distribution du poids moléculaire (MUZZARELLI, 1977).

a)



b)

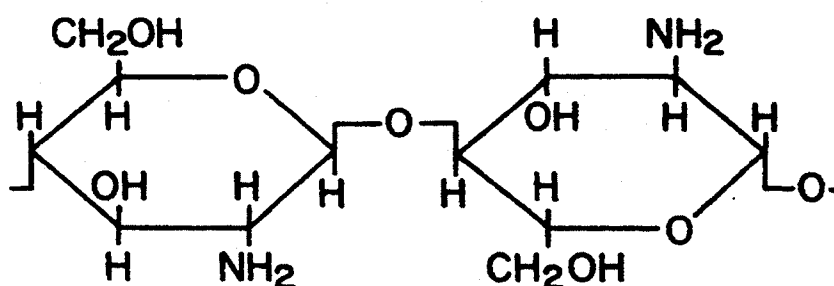


Figure 2.7 : Structures chimiques de la chitine a) et du chitosane b)

température provoque la diminution de la viscosité du polymère. Pourtant, des résultats différents selon les acides employés sont obtenus par le changement du pH dans la solution des polymères. Ainsi, avec l'acide acétique la viscosité du chitosane a tendance à s'accroître, mais avec l'acide chlorhydrique la viscosité diminue avec la diminution du pH (LI et coll., 1992).

Le chitosane est insoluble dans l'eau sous les conditions normales. En effet, sa solubilité dépend du pH. Il est soluble dans l'environnement acide par suite de la formation du groupe aminocationique ($-\text{NH}_3^+$). Les acides acétique et formique sont les plus souvent utilisés pour la dissolution du chitosane. Les acides minéraux comme les acides nitrique, perchlorique et chlorhydrique le rendent partiellement soluble alors qu'il est pratiquement insoluble dans les acides sulfurique et phosphorique (ONSOYEN ET SKAUGRUD, 1990). En général, il est soluble pour un pH inférieur à 4,0 (KAWAMURA, 1991).

L'efficacité du chitosane comme flocculant dépend de sa nature cationique. Le chitosane est un polymère cationique à pH acide. Il a une densité de charge élevée, une charge pour chaque unité de glucosamine (SANDFORD, 1989). Grâce à son nombre important de groupes aminés créés par déacétylation de la chitine, il peut réagir avec des particules chargées négativement comme les protéines, les polymères, les acides nucléiques, les teintures et aussi avec les boues activées. Donc, le degré de déacétylation (DDA) qui présente la fraction molaire des unités déacétylées, (d'habitude 70-80%), est une de plus importantes propriétés du chitosane (ONSOYEN ET SKAUGRUD, 1990). L'étude de la floculation du kaolin par le chitosane a montré que plus le DDA est élevé, plus la capacité de la floculation est prononcée (DOMARD et coll., 1989).

Étudiant l'efficacité de la floculation de la bactérie *Escherichia coli* par les polyélectrolytes cationiques, ERIKSSON et HÄRDIN (1987) ont conclu que, pour le type de floculation des bactéries qui ressemble à celle réalisée par la boue activée, la densité de charge élevée des poly cations est très importante. Dans ce cas le chitosane, qui peut réagir fortement avec les PEC présents soit sur la surface bactérienne, soit dans le liquide environnemental, pourrait être un flocculant très efficace.

La nature cationique du chitosane est responsable aussi de la chélation efficace des ions métalliques non désirables comme le fer, le cuivre, le magnésium, et les métaux toxiques : le mercure, le plomb, le nickel, le chrome, le cadmium, etc. MUZZARELLI (1973) a attribué sa prédisposition pour la chélation grâce à son grand nombre de groupes aminés. À part le DDA, la structure du chitosane est considérée comme un facteur influençant l'adsorption des ions métalliques. Grâce à ses propriétés de chélation un grand intérêt s'est manifesté en vue d'utiliser le chitosane pour éliminer les déchets toxiques.

Le chitosane est un flocculant efficace pour l'enlèvement des protéines dans l'industrie alimentaire (WU et coll., 1978 ; SENSTAD et ALMAS, 1985). SENSTAD et ALMAS (1985) ont étudié l'effet du pH et du rapport entre les molécules chargées positivement et les colloïdes chargés négativement. L'augmentation du rapport chitosane/protéines entraîne l'augmentation de l'enlèvement des protéines seulement dans une gamme de pH relativement élevée (6,5-8,0). WU

et coll. (1978) ont démontré l'efficacité du chitosane pour l'enlèvement de protéines provenant de l'industrie du fromage. L'efficacité de la coagulation des solides et des protéines était inversement proportionnelle au poids moléculaire du polymère.

Le chitosane, ayant un poids moléculaire plus élevé, a permis une bonne efficacité de la floculation de boue activée dans le traitement des eaux usées d'industrie alimentaire (BOUGH et coll., 1978). L'efficacité de la coagulation dans ce cas a été évaluée par le volume maximum de boue filtrée pendant 5 min.

De nombreuses recherches confèrent un avantage net à l'utilisation du chitosane dans le traitement des eaux usées et des eaux potables par rapport aux polymères synthétiques qui peuvent contenir des monomères toxiques et ainsi causer la pollution secondaire en raison de leur accumulation dans l'environnement. Au Japon, le chitosane est largement utilisé pour la clarification des eaux usées, remplaçant avec succès ses homologues synthétiques. Il s'est montré un substitut efficace aux coagulants conventionnels dans le traitement des eaux potables (KAWAMURA, 1991 ; ZELJKOVIC-ILIC, 1996). Vis-à-vis l'alun, son efficacité concernant l'enlèvement de la turbidité est moins affectée par les variations de température et de pH du milieu (ZELJKOVIC-ILIC, 1996). De plus, ce coagulant organique cationique, en neutralisant directement les colloïdes négatifs, réduit considérablement le volume de la boue produite.

Les recherches intensives concernant la biofloculation des différentes cultures bactériennes par l'ajout du chitosane et qui ont été poursuivies pendant la dernière décennie, impliquent la possibilité de son utilisation dans le domaine du traitement biologique des eaux usées. Le chitosane se montre un floculant plus efficace que les polyélectrolytes synthétiques, particulièrement dans le cas de présence des PEC (ERIKSSON et HÄRDIN, 1987) qui peuvent ralentir ou empêcher l'adsorption des floculants sur la surface bactérienne.

Ainsi, il a été rapporté que le chitosane forme via des ponts hydrogènes, des liaisons stables et irréversibles avec les PEC présents à la surface des bactéries (ERIKSSON et HÄRDIN, 1987 ; HUGHES et coll., 1990 ; HUGHES et coll., 1994). En agissant avec les PEC le chitosane s'approche à la surface bactérienne, ce qui permet la réalisation de l'interaction électrostatique

entre lui et la surface des bactéries. De plus, la formation des complexes macromoléculaires chitosane/PEC peut faciliter la formation des floccs macroscopiques par le pontage des microflocs individuels (HUGHES et coll., 1994).

EL-MAMOUNI et coll. (1998) rapportent sur une meilleure efficacité du chitosane par rapport aux polymères synthétiques (Percol) dans le processus de la granulation microbienne dans le traitement anaérobie. Cette meilleure efficacité est probablement reliée à la structure polysacharidique du chitosane, qui rappelle celle des PEC.

Les atouts principaux pour l'utilisation du chitosane se trouvent dans son efficacité et ses propriétés biologiques : la biodégradabilité et la non toxicité. De plus, il s'agit d'un polymère naturel provenant des déchets. Bien que ces propriétés, comme les propriétés physico-chimiques mentionnés auparavant, puissent favoriser l'application de ce polymère afin d'améliorer la décantation des boues activées induite par la biofloculation des floccs, l'auteur de ce mémoire n'a trouvé aucune littérature sur ce sujet.

3. MÉTHODOLOGIE

3.1 Montage expérimental

Le montage expérimental (Figure 3.1) se compose principalement d'un réacteur biologique séquentiel. Le réacteur est un bassin de forme cylindrique en plexiglass, qui permet de visualiser l'interface solide/liquide au cours de la période de décantation. Les dimensions du réacteur sont présentées au Tableau 3.1.

TABLEAU 3.1 : LES DIMENSIONS DU RÉACTEUR

| Caractéristiques | Dimensions |
|--------------------------------------|------------|
| Volume total du réacteur | 16,5 L |
| Volume utile du réacteur | 13,7 L |
| Volume de la tranche de boue | 4,8 L |
| Volume de l'effluent soutiré | 8,9 L |
| Diamètre intérieur du réacteur | 13,2 cm |
| Hauteur totale du réacteur, H | 120,0 cm |
| Hauteur utile du réacteur, h | 100,0 cm |
| Hauteur de la tranche de boue, h_1 | 35,0 cm |
| Hauteur de l'effluent, h_2 | 65,0 cm |
| Hauteur de la revanche, h_3 | 20,0 cm |
| Hauteur de soutirage de boue, h_4 | 25,0 cm |

Les différentes conceptions relevées dans la littérature justifient le choix de ces dimensions. Ainsi, le volume de la tranche de boue retenue (25-35% du volume utile) respectent la conception proposée par ARORA et coll. (1985). Le diamètre choisi respecte les exigences des normes de *Standard Methods* (APHA et coll., 1995) lesquelles acceptent des colonnes de 10 cm et plus pour la méthode 2710E *Zone settling rates*.

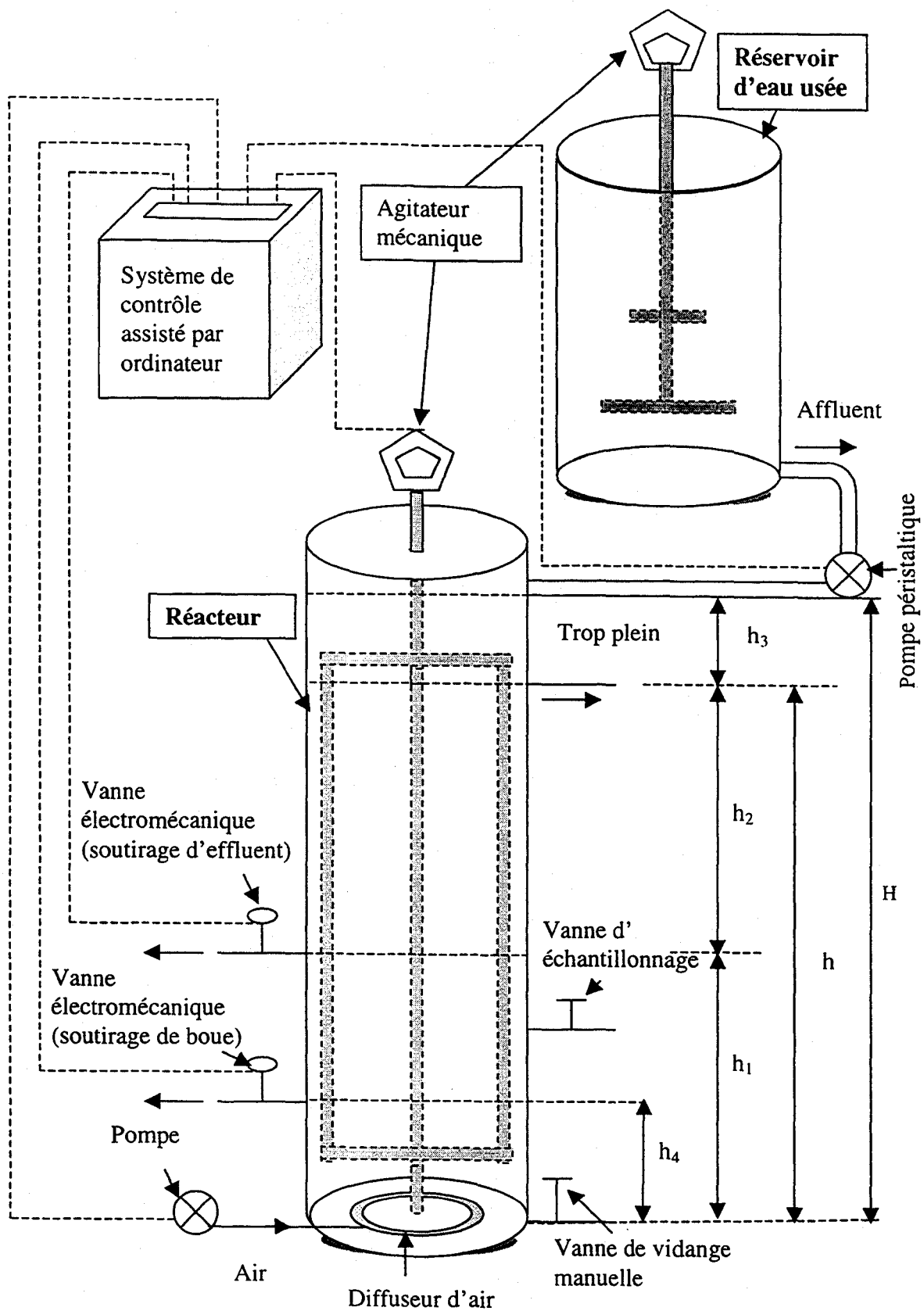


Figure 3.1 : Montage expérimental

Nous avons alimenté le réacteur à l'aide d'une pompe péristaltique avec de l'eau usée synthétique placée dans un réservoir d'une capacité de 160 L, ce qui permet une autonomie d'alimentation en substrat de deux jours. L'eau usée est agitée continuellement afin d'avoir une homogénéisation de l'affluent.

Pendant la phase de réaction on a assuré l'aération par une pompe à aquarium débitant dans un diffuseur placé en spirale au fond du réacteur. Cette aération a assuré en même temps le mélange de la liqueur mixte.

Le soutirage de boue est contrôlé par une vanne électromécanique (solénoïde) avec une sortie aménagée au fond du réacteur. Cet orifice de sortie a un diamètre de 1,27 cm. Le soutirage de l'effluent se fait par la vanne solénoïde à la hauteur de 35 cm. L'orifice à l'ouverture est aussi de 1,27 cm de diamètre. Un trop plein d'un diamètre de 1,27 cm est installé à une hauteur de 100 cm du fond du réacteur afin de contrôler le volume utile et de permettre l'évacuation de la liqueur mixte en cas d'une défectuosité de la vanne solénoïde.

Pendant la décantation de boue on a réalisé une agitation lente de la liqueur mixte d'environ 2 tours par minute à l'aide d'un agitateur mécanique, et ce afin de réduire l'effet de paroi. L'agitateur est muni de deux tiges verticales fixés afin de les maintenir à une distance de 2 cm de la paroi du réacteur, ce qui est recommandé par *Standard Methods* (APHA et coll., 1995) pour la réalisation de la méthode 2710E *Zone settling rates*.

Un ordinateur PC permet de contrôler les opérations lors de chaque cycle d'opération. Il est muni d'un programme d'acquisition de données.

Le Tableau 3.2 montre les caractéristiques techniques du matériel utilisé pour le montage expérimental.

TABLEAU 3.2 : LES CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DU MATÉRIEL UTILISÉ

| Composant | Matériel | Caractéristiques |
|---------------------------------|--|--|
| Réacteur | Réservoir cylindrique en plexiglass | Volume total : 16,5 L Diamètre : 13,24 cm Longueur : 120,00 cm |
| Agitation | Agitateur couplé à l'engrenage d'une perceuse domestique | Modèle RZR 50, CAFRAMO, Wiarton, Ontario, CAN à vitesse variable de 45 à 2000 tours/min. Modèle 54-2979-2, MASTERCRAFT, à vitesse variable de 0 à 1050 tours/min, le tout permettant une vitesse rotationnelle de 2 tours/min |
| Aération | Pompe à air | Modèle FORCE 2, Rolf C. Hagen Inc, Montréal, (Québec) CAN, pouvant débiter de 500 à 3000 ml d'air/min |
| | Diffuseur d'air | Modèle AIRCURTAINE, Rolf C. Hagen Inc, Montréal, d'une longueur de 58 cm |
| Soutirage d'effluent et de boue | Vannes électromécaniques (solénoïde) | Marque ASCO, modèle Red-Hat II,- ASCOELECTRIC, Brantford, Ontario. |
| Alimentation | Réservoir cylindrique en PEHD Pompe péristaltique | Volume utile de 160 L Modèle 75530-20, MASTERFLEX, Cole-Parmer Co, Illinois, USA avec un débit de 0,06 à 2280 ml/min |
| Contrôle du système | Plaquette de contrôle gérée par le programme DASYLAB sur ordinateur PC | DAH-08, Computer Boards Inc, Mansfield, USA DASYLAB 4.0, Dasytech, Amherst, NH, USA. PC, 486DX, 33MHz sous environnement WINDOWS 95 |

3.2 Type d'eau usée synthétique (EUS)

Tous les essais sont effectués en utilisant une eau usée synthétique (EUS) correspondant à une eau usée typique domestique (METCALF ET EDDY, 1979 ; GRAY, 1992). Cette eau usée synthétique est fabriquée à partir de produits chimiques au laboratoire. On a ajouté des sels nutritifs à l'alimentation pour que le rapport $\text{DBO}_5/\text{N}/\text{P}$ soit égal à 100/5/1, ce qui est considéré comme un rapport optimale pour le traitement biologique (BENEFIELD et RANDALL, 1980 ; GRAY, 1992).

Les produits sont dissous dans l'eau de robinet déchlorée et stabilisée à la température de 4°C pour obtenir les caractéristiques désirées de l'eau usée. Les produits et quantités sont données au Tableau 3.3.

TABLEAU 3.3 : COMPOSITION DE L'EAU USÉE SYNTHÉTIQUE UTILISÉE

| Produit (fabricant) | Concentration (mg de produit / L d'eau du robinet) |
|---|---|
| Bacto-peptone (Difco) | 73,0 |
| Sucrose $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ | 322,0 |
| Phosphate de potassium KH_2PO_4 | 18,0 |
| Chlorure d'ammonium NH_4Cl_2 | 69,0 |
| Chlorure de magnésium $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ | 92,5 |
| Chlorure de potassium KCl | 25,0 |
| Chlorure de calcium CaCl_2 | 25,0 |
| Bicarbonate de sodium NaHCO_3 | 100,0 |
| Sulfate de fer $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 12,5 |
| Sulfate de manganèse $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | 5,0 |
| Sulfate de cuivre $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ | 2,5 |

3.3 Boues activées d'ensemencement

Pour l'ensemencement du réacteur nous avons utilisé les boues activées provenant de la station d'épuration de la municipalité de Rock Forest (Québec). Cette station utilise une modification du processus de boue activée, soit l'aération prolongée.

Les boues activées sont prélevées des bassins d'aération. Immédiatement après son prélèvement, la liqueur mixte est transportée au laboratoire pour être introduite dans le réacteur.

3.4 Solution de chitosane

Lors des essais on a utilisé la même solution de chitosane. Elle est préparée à partir de 0,2 g de chitosane et de 1 g d'acide acétique, le tout dilué par l'eau déionisée donnant un volume total de 100 mL. La solubilisation du chitosane est effectuée dans un bain ultrason (Modèle 3210, Bransonic, Danbury, CT, USA) pendant une heure.

3.5 Stratégie d'opération du réacteur

Avant d'effectuer les expériences nécessaires pour l'évaluation des effets du chitosane sur la performance du RBS, des essais préliminaires furent effectués pour permettre d'adapter la stratégie de fonctionnement du réacteur.

Pour l'opération du réacteur on a adopté six cycles par jour. Chacun des cycles a une durée de 4 heures. Le Tableau 3.4 présente l'horaire typique de fonctionnement du réacteur RBS pendant une journée.

L'opération du réacteur durant un cycle consiste en une première phase de remplissage avec aération, suivi d'une deuxième phase de réaction entre la biomasse et l'eau usée, une troisième phase de décantation, ensuite une phase de soutirage de l'effluent et finalement, le cycle se

termine par une cinquième phase de repos. Les temps alloués à chaque phase d'un cycle de 4 heures, ainsi que l'état du mélange et d'aération sont présentés au Tableau 3.5.

TABLEAU 3.4 : HORAIRE JOURNALIER TYPIQUE D'OPÉRATION DU RBS

| Cycle | Début (h, min) | Fin (h, min) |
|-------|-------------------|-----------------|
| I | 9h 30min | 13h 30min |
| II | 13h 30min | 17h 30min |
| III | 17h 30min | 21h 30min |
| IV | 21h 30min | 1h 30min |
| V | 1h 30min | 5h 30min |
| VI | 5h 30min | 9h 30min |

TABLEAU 3.5: LE CYCLE OPÉRATOIRE DANS LE RBS

| Phase d'opération | Durée (min) | Aération | Agitation (lente) |
|----------------------|----------------|----------|----------------------|
| Remplissage | 15 | oui | non |
| Réaction | 150 | oui | non |
| Décantation | 45 | non | oui |
| Soutirage d'effluent | 15 | non | non |
| Repos | 15 | non | non |

L'extraction d'un volume de la biomasse (liqueur mixte) à une fréquence d'une fois par jour, lors du sixième cycle, est effectuée pour le contrôle de l'âge de la boue. La biomasse était soutirée juste à la fin de phase de réaction. Pourtant on doit souligner que la valeur de l'âge de la boue pendant les séries A et B était influencée par les prélèvements des échantillons lors de la phase de réaction ce qui est évident à partir du Tableau 3.6.

TABLEAU 3.6 : ÂGE DE LA BOUE (j) DANS LE RBS

| Série | Durée d'une série (j) | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-----------------------|---|---|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| A | - | - | - | 11 | 6,0 | 6,0 | 5,0 | 4,5 | - | | | | | | |
| B | - | - | - | - | - | 11 | 7,0 | 6,5 | 5,5 | - | | | | | |
| C | | | | | | 5,6 | 5,4 | 5,3 | 5,4 | 5,6 | 5,5 | | | 5,6 | 4,8 |

3.6 Procédure expérimentale

Afin de pouvoir juger des effets du chitosane sur la décantation et l'épaississement de la boue on a poursuivi la réalisation des essais dans le RBS et des essais à l'échelle du laboratoire dans des cylindres gradués de 1 L. Les essais réalisés dans le RBS ont aussi permis d'évaluer les impacts de ce bio-polymère sur le traitement biologique.

3.6.1 Évaluation des effets du chitosane sur la décantation de la boue activée

Cinq séries d'expériences (dénnotées A, B, C, D et E) ont été réalisées au cours de cette étude. Les premières deux séries (A et B) ont permis d'évaluer les effets du chitosane sur la décantation de la boue activée dans le RBS. La série A montre ces effets pour le dosage du chitosane de 5 mg/L, alors que la série B correspond à un essai avec le dosage plus élevé de 15 mg/L. Pendant les autres séries C, D et E, des gammes de dosage de chitosane concernant la décantation des boues activées soit en état normal, soit en état de gonflement, ont été utilisées uniquement pour des décantations effectuées dans des cylindres gradués. Le Tableau 3.7 présente un résumé de toutes les expériences réalisées lors de cette étude.

Avant chaque série d'essais on a effectué la stabilisation du système. Lors de cette période on a suivi, dans l'affluent et l'effluent, l'évolution journalière du COT, MES, NH_3 , TKN, PO_4^{3-} et P_t régulièrement (en général chaque jour). Dans la liqueur mixte nous avons mesuré les MLVSS et MLSS. La concentration de l'oxygène dissous (OD), le pH et la température dans la liqueur mixte étaient mesurés périodiquement pour assurer des conditions favorables pour la biocénose des boues activées.

Pendant la phase de décantation, on a noté l'évolution de l'interface solide/liquide en fonction du temps. Les courbes de décantation, $H(t)$, ainsi obtenues ont permis de déterminer les vitesses de décantation en zone (VDZ) correspondantes. En mesurant la concentration initiale de boues activées (exprimé en MLSS) juste avant la décantation et le volume de boues décantées après 30 min, nous avons déterminé l'IVB. Pour qualifier l'épaississement, le volume de boues après l'enlèvement du surnageant, soit après 60 min (V_{60}) était noté.

L'observation au microscope optique (modèle BH2, Olympus, Don Mills, Ontario, CAN, grossissement maximal de 1000X) des boues périodiquement a fourni des données complémentaires sur la qualité des floccs de boues activées concernant la décantation des boues (la forme du flocc, la présence et l'abondance des filamenteuses, la présence des colonies de zooglées, les types de protozoaires présents).

TABLEAU 3.7: RÉSUMÉ DES EXPÉRIENCES EFFECTUÉES

| Série | Date | Durée (j) | Durée d'accli- mation (j) | Dosage de chitosane (mg/L) | Ajout du chitosane au jour et cycle indiqué (j, cycle) | Essais dans des cylindres gradués réalisés au jour indiqué (j) |
|-------|------------------|--------------|------------------------------------|----------------------------------|---|---|
| A | 8/07 au 17/07/98 | 9 | 5 | 5 | 7, VI | 4, 5, 6, 7 |
| B | 27/07 au 6/08/98 | 10 | 6 | 15 | 8, VI | 6, 7, 8, 9 |
| C | 17/08 au 8/09/98 | 22 | 6 | 0,5-8 0-25 | - | 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 17 et 22 ^{a)} |
| D | 4/09 au 24/09/98 | 10 | 6 | 0-5 | - | 10 |
| E | 1/10 au 25/10/98 | 25 | 6 | 0-25 | - | 25 ^{a)} |

^{a)} boue en état de gonflement

Après sept jours (pour la série A) ou huit jours (pour la série B) de fonctionnement du réacteur, on a ajouté la solution de chitosane juste une minute avant la fin de la phase de réaction du dernier (VI) cycle du jour. Le volume introduit a été de 30 mL pour la série A et 95 mL pour la

série B et il a été ajouté par une seringue à la surface du réacteur. Ensuite, on a suivi la chute de l'interface boue/liquide lors de la décantation pour caractériser la décantabilité de la boue activée en présence du chitosane et la comparer avec la décantabilité de la boue en l'absence du chitosane, cette dernière ayant été caractérisée par les courbes de décantation enregistrées lors des jours précédents. Les courbes de décantation enregistrées pendant les cycles suivant l'ajout du chitosane ont permis d'évaluer la permanence des effets.

Lors des séries A et B on a procédé aussi aux essais de décantation de boues activées dans des cylindres gradués d'un volume de 1 L avec des dosages différents de chitosane. La liqueur mixte utilisée pour ces essais était celle soutirée du réacteur pour maintenir un âge de la boue particulier dans le réacteur. La quantité de liqueur mixte soutirée du réacteur nous a permis de réaliser la décantation de boue activée dans un cylindre chaque jour.

La procédure utilisée pour la réalisation des essais dans des cylindres gradués était la suivante :

1. remplissage des cylindres avec 1000 mL de la liqueur mixte prélevée du réacteur à la fin de la phase de réaction,
2. placement des diffuseurs branchés sur la pompe d'air FORCE1,
3. ajout du chitosane à l'aide d'une seringue,
4. mélange à l'aide du diffuseur pendant une minute,
5. retrait du diffuseur, et
6. la notation de la hauteur de l'interface boues/liquide au cours de 45 minutes de décantation.

Les courbes de décantation obtenues dans des cylindres nous ont permis de comparer les caractéristiques de décantation pour des boues activées ayant différents dosages de chitosane et donc, de connaître le dosage efficace du chitosane. Pour la caractérisation de la décantation de boue dans des cylindres on a introduit deux nouveaux paramètres, la vitesse de décantation en zone établie dans un cylindre, V_C et l'indice volumique de boue établie dans un cylindre, IVB_C .

Les essais de décantation dans des cylindres gradués représentent la base principale des essais C, D et E.

La série C nous a permis d'étudier les impacts du chitosane sur les propriétés de décantation de boues activées en fonction des différents dosages du chitosane. Lors de cette série le soutirage a été augmenté afin d'avoir un volume de liqueur mixte de 2000 mL. Ainsi chaque matin après le soutirage de la liqueur mixte on a réalisé des essais de décantation dans deux cylindres gradués. Dans un cylindre on a suivi la décantation de boue activée en présence du chitosane, alors que la courbe de décantation enregistrée dans le deuxième cylindre, sans ajout de chitosane, a été utilisée comme témoin. Mais pendant cette expérience les propriétés de décantation ont été graduellement changées de sorte que finalement la boue activée se trouve en état de gonflement. Cette apparition accidentelle du gonflement de boue a permis de juger des effets du chitosane aux dosages de 0 à 25 mg/L sur ce cas particulier de décantation de la boue activée. Pour cet essai la liqueur mixte a été complètement soutirée du réacteur au cours d'un matin et introduite dans plusieurs cylindres. Un cylindre a servi de témoin et dans les autres cylindres on a ajouté différentes concentrations du chitosane.

La série D approfondit encore l'étude des effets du chitosane sur la décantation de boues activées en fonction des différents dosages. Particulièrement, elle a permis d'évaluer ses effets en dosages plus faibles allant de 0 mg/L jusqu'à 5 mg/L. Mais cette fois on a éliminé la variation de la concentration et des caractéristiques de boue activée par la réalisation des essais dans plusieurs cylindres gradués avec plusieurs dosages du chitosane mais avec la boue activée ayant les mêmes caractéristiques et la même concentration, ce qui a été possible par le soutirage complet de boue activée du réacteur au cours d'un matin.

Lors de la dernière série E on a provoqué le gonflement de boue activée dans le réacteur en opérant avec une charge spécifique plus élevée pour qu'on puisse établir encore une fois le dosage efficace du chitosane pour ce cas particulier de décantation de boues activées. Après l'apparition du gonflement de boue on a effectué les essais de décantation dans plusieurs cylindres gradués avec des dosage de chitosane allant de 0 à 25 mg/L.

3.6.2 Évaluation des impacts du chitosane sur le traitement biologique

L'évaluation des effets du chitosane sur le traitement biologique a été faite pendant l'opération du RBS en deux reprises (séries A et B). La série A a permis cette évaluation pour le dosage du chitosane de 5 mg/L, alors que la série B étudie les effets du chitosane au dosage de 15 mg/L.

Quand le régime permanent (« *steady-state* ») pour ces deux séries d'expériences était atteint, on a analysé plusieurs paramètres dans le surnageant de la liqueur mixte pendant la phase de réaction, dans l'affluent et l'effluent du RBS. Les paramètres analysés dans le surnageant de la liqueur mixte, à la fréquence d'une demi-heure, étaient les suivants : le COT, les matières volatiles en suspension dans la liqueur mixte (MLVSS), les matières en suspension dans la liqueur mixte (MLSS), l'azote ammoniacal (NH_3), l'azote Kjeldahl total (TKN), les nitrates (NO_3) et les orthophosphates (PO_4^{3-}). Dans l'affluent on a suivi la concentration du COT, NH_3 , TKN, NO_3^- , P_i et PO_4^{3-} , et en plus, dans l'effluent la concentration de MES et de MVS pour connaître l'efficacité du système.

Les mêmes analyses ont été effectuées pendant les deux jours suivant l'ajout du chitosane. Les analyses dans l'effluent et l'affluent ont été aussi réalisées juste après l'ajout du chitosane le sixième cycle.

Ces analyses réalisées lors de cette étude ont permis :

- d'étudier les impacts du chitosane sur la réaction biologique après l'ajout du chitosane concernant d'évolution des paramètres de qualité de l'eau usée,
- d'évaluer la bio-comptabilité de ce polymère naturel avec la biomasse, et
- d'évaluer ses effets sur l'efficacité du système.

Les effets du chitosane sur la réaction biologique ont été évalués à l'aide des courbes d'évolution des paramètres de qualité de l'eau usée obtenues pour les cycles précédents l'ajout et pour les cycles suivants l'ajout du chitosane. A partir de ces courbes et l'évolution journalière du MLVSS dans la liqueur mixte du réacteur on a jugé la bio-compatibilité entre la boue activée et le

chitosane. L'évaluation des effets sur l'efficacité du système est faite à partir de l'évolution journalière de ces paramètres dans l'affluent et l'effluent.

3.7 Méthodes analytiques

Les méthodes analytiques qui ont été appliquées dans les analyses chimiques et physiques effectuées sur l'affluent, l'effluent et la liqueur mixte du RBS, comme et les appareils utilisés sont présentés au Tableau 3.8. Toutes les analyses ont été effectuées selon *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et coll., 1995) et les méthodes données dans le manuel Hach (HACH, 1992).

On doit souligner que la méthode 2710 D propose la réalisation du test dans un cylindre ayant un volume de 1 L. Mais, nous avons déterminé l'IVB dans le réacteur. Ainsi, la formule pour le cylindre a été modifiée pour l'utilisation des données du réacteur:

$$IVB = \frac{\text{volume (mL) de boue décantée après 30min} * 1000}{\text{volume utile (mL) du réacteur}} * \frac{1000}{\text{mg MLSS/L}} \quad (3.1)$$

Tous les paramètres chimiques ont été déterminés sur des échantillons filtrés. Les échantillons pour l'analyse du COT sont, au besoin, préservés par addition d'acide chlorhydrique pour obtenir un pH inférieur ou égal à 2. La préservation des échantillons pour l'analyse de NH_4 , TKN, P_i est réalisé par addition d'acide sulfurique. Les échantillons sont conservés à 4°C si l'analyse n'est pas effectuée la même journée. Les échantillons pour l'analyse de NO_3^- et PO_4^{3-} sont toujours traités tout de suite après le prélèvement.

La plupart des analyses étaient effectuées en duplicata. Pourtant, les analyses qui exigent un volume important d'échantillon (NH_3 , TKN) ont été réalisées en simplicats dans le cas des prélèvements lors de la phase de réaction.

TABLEAU 3.8 : MÉTHODES ET APPAREILS UTILISÉS POUR LES ANALYSES

| PARAMÈTRES | MÉTHODE No | APPAREIL OU MÉTHODE |
|--------------------------------------|--|--|
| Vitesse de décantation en zone | 2710 E ^(a) | Cylindre en plexiglass (RBS) |
| Indice volumique de boue | 2710 D ^(a) | Cylindre en plexiglass (RBS) |
| Matière en suspension | 2540 D ^(a) | Évaporation à 105°C du résidu de filtration sur filtre Wattman 934/AH |
| Matière volatile en suspension | 2540 E ^(a) | Perte au feu à 550 °C du résidu de filtration sur filtre Wattman 934/AH |
| Carbone organique total | 5310 C ^(a) | Analyseur de COT (modèle DC-80, Dorhmann, Envirotech Co, Santa Clara, CA, USA), Méthode d'oxydation au persulfate par les ultraviolets |
| Azote ammoniacal | 4500-NH ₃ B et D ^(a) | Appareillage de distillation (modèle 343, Büchi, Flawil, Suisse) |
| Azote Kjeldahl total | 4500 - N _{org} ^(a) | Appareillage de digestion (modèle 435, Büchi, Flawil, Suisse) et appareillage de distillation (modèle 343, Büchi, Flawil, Suisse) |
| Nitrates | Hach 355 ^(b) | Méthode de réduction au cadmium, analyse au spectrophotomètre visible DR/2000 ^(b) |
| Orthophosphates | Hach 485 ^(b) | Méthode d'analyse amino acide, spectrophotomètre visible DR/2000 ^(b) |
| Phosphore total | 4500 - P B.5 ^(a) Hach 485 ^(b) | Méthode de digestion par persulfate, méthode d'analyse amino acide, spectrophotomètre visible DR/2000 ^(b) |
| pH | 4500 H ⁺ ^(a) | Méthode électrométrique, pH-mètre, HACH-ONE ^(b) |
| Oxygène dissous | 4500 - O G ^(a) | Méthode à l'électrode à membrane (Oxymètre modèle 59, YSI, Yellow Springs, Ohio, USA.) |
| Température | 2550 ^(a) | Thermomètre à mercure (de -10 à 150 °C) |

(a) Numéro de la méthode dans *Standard Methods*, (APHA et coll., 1995).

(b) Hach, Loveland, Colorado, U.S.A.

Pour la caractérisation de la décantabilité de boues dans des cylindres gradués de 1 litre on a utilisé la vitesse de décantation établie dans le cylindre (V_C) et l'indice volumique de boue établi dans le cylindre (IVB_C). Pour détermination de ces deux paramètres l'agitation lente de la liqueur mixte n'était pas utilisée.

4. PRÉSENTATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

Ce chapitre expose les résultats des expériences et analyses effectuées lors de cette étude. Toutes les données servant à générer les figures de ce chapitre se retrouvent également dans des tableaux présentés aux annexes A, B et C. Les résultats concernant la décantation des boues activées font l'objet de la section 4.1, et ceux concernant les effets du chitosane sur le traitement biologique dans le RBS, de la section 4.2.

4.1 Effet du chitosane sur la décantation de la boue activée

4.1.1 Essais de décantation dans le réacteur RBS

Les effets du chitosane sur la décantation de la boue activée dans le RBS sont observés lors deux séries d'expériences, A et B. Pendant la série A on a ajouté le chitosane au dosage de 5 mg/L et pour la série B on a utilisé le dosage de 15 mg/L. Pour chaque série d'expérience on a d'abord réalisé la stabilisation du système, sans ajout de chitosane.

a) Série d'expérience A

Les courbes de décantation de la boue activée dans le réacteur, enregistrées pendant le premier cycle lors de la stabilisation du système pour la série A, sont présentées sur la Figure 4.1. Les données numériques correspondantes sont au Tableau A.1. Au cours de trois premiers jours les profils de décantation de la boue activée sont assez bas, ce qui correspond à une VDZ de $8,0 \pm 0,1$ cm/min et à un IVB de $82,3 \pm 9,7$ mL/g (moyenne \pm écart-type). Ces paramètres de décantation sont probablement des indices de la nature de la boue activée de la station de Rock Forest, qui a été opérée avec un âge de la boue assez élevé de 15 j lors du prélèvement de la boue. Au début du fonctionnement du réacteur la concentration de MLSS est de $1745 \text{ mg/L} \pm 26,9$ mg/L. Une chute de la MLSS dans le réacteur au cours de la deuxième journée a été causée par le soutirage de la liqueur mixte au cours du dernier cycle du premier jour. La quantité de liqueur mixte soutirée a été graduellement augmentée au cours des premiers trois jours pour qu'après elle

ait été stabilisée autour de 1600 mL par jour. Étant donné que la quantité de la biomasse produite a été plus élevée que celle soutirée, la concentration de la MLSS dans le réacteur a graduellement augmentée. Après trois jours de fonctionnement, le soutirage de la même quantité de liqueur mixte régulièrement au cours de la période de la réaction du cycle I a été réalisé pour maintenir une concentration de MLSS constante au cours de nos essais.

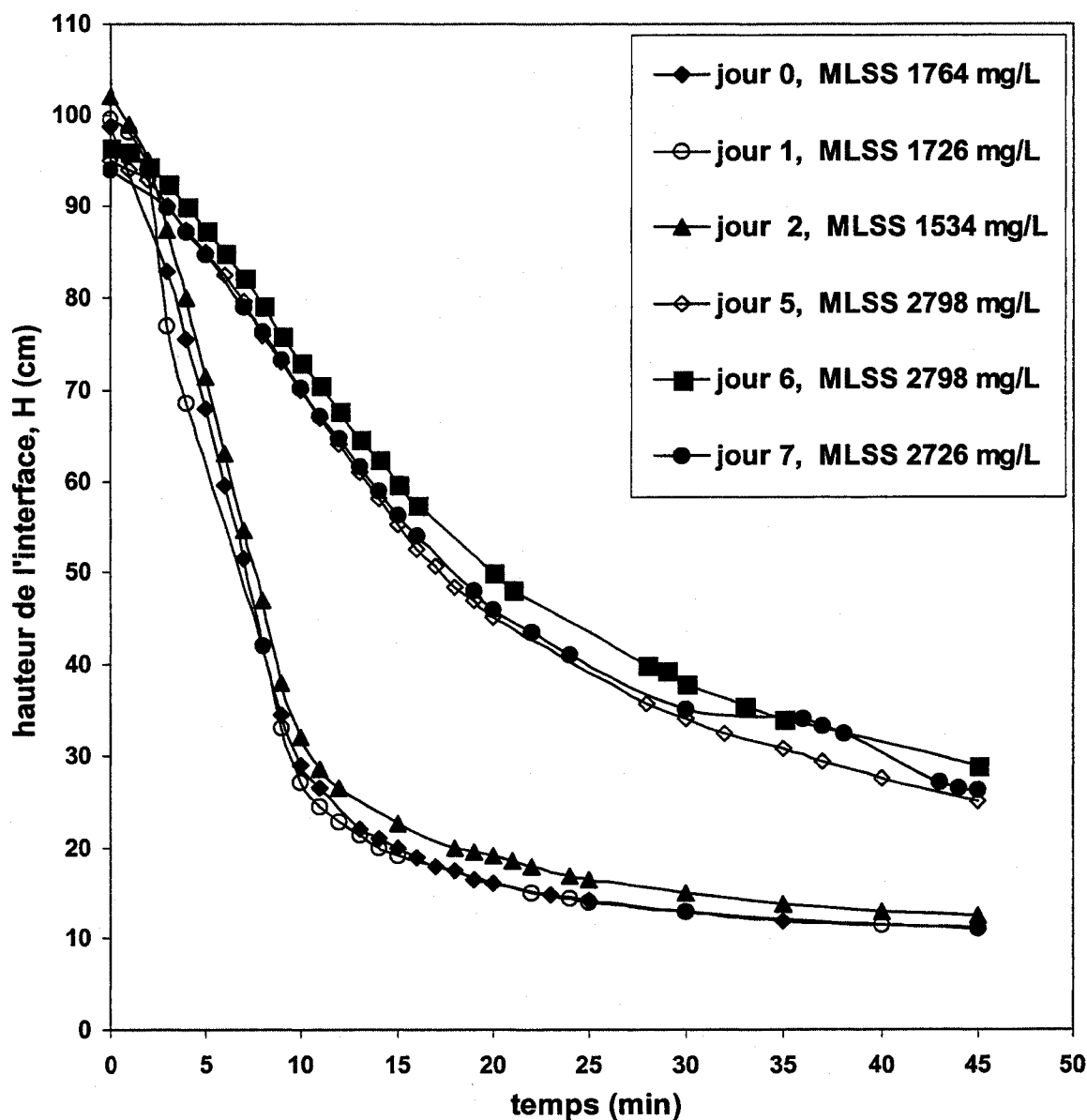


Figure 4.1 : Courbes de décantation de la boue activée dans le RBS lors de la période de stabilisation du système pendant la série A, cycle I, sans ajout de chitosane.

À partir de la cinquième journée on peut constater la stabilisation du profil de décantation de la boue activée. La concentration de la MLSS dans la liqueur mixte au cours du cycle I est stabilisée à une valeur de 2774 ± 42 mg/L. Les courbes de décantation se situent plus haut que celles enregistrées au début de fonctionnement du réacteur en raison de l'augmentation de la MLSS, mais possiblement aussi en raison de l'âge de la boue plus faible dans le RBS par rapport à celui maintenu dans la station. En conséquence, la boue activée possède une lente VDZ de $2,7 \pm 0,1$ cm/min et un IVB de $135,3 \pm 5,4$ mL/g durant les jours 5 à 7.

La VDZ de 2,7 cm/min dans le RBS durant ces trois jours indique une vitesse assez faible de décantation de la boue activée (selon le Tableau 2.1) et elle est plus faible que celle enregistrée dans un RBS, opérant avec une période de remplissage aéré et mélangé, lors de l'étude de BORGATTI (1981). Dans cette étude, la VDZ s'est située dans un intervalle de 3,0 à 7,4 cm/min, et l'IVB entre 65 et 149 mL/g. D'autre part, lors de l'étude de WANNER (1992) des vitesses de décantation plus élevées, entre 6,7 et 11,7 cm/min, sont obtenues dans un RBS ayant un âge de la boue de 10 j. L'IVB, dans cette étude, était assez stable et au-dessous de 100 mL/g.

L'IVB au-dessus de 100 mL/g dans notre RBS fait ressortir la présence des organismes filamenteux dans la boue activée. L'examen microscopique de la boue a justement prouvé leur existence en quantité modérée.

Lors des jours 5 à 7 la concentration de MES dans l'effluent du RBS est de $15,5 \pm 2,5$ mg/L, alors que le volume de la boue décantée après 45 minutes, V_{45} est de 3681 ± 231 mL.

Les essais effectués après la stabilisation du système révèlent les effets du chitosane au dosage de 5 mg/L sur la décantation de la boue activée dans le réacteur. Les courbes de décantation enregistrées lors de ces essais sont présentées sur la Figure 4.2 et les valeurs numériques au Tableau A.2. L'âge de la boue a été d'environ 5 jours.

Il est évident à partir de la Figure 4.2 que l'ajout du chitosane dans la liqueur mixte au cours du dernier cycle du 7^{ième} jour influence significativement le profil de décantation de la boue activée.

D'abord, la durée de la première phase de la décantation, soit la floculation, est raccourcie et suivie une pente plus raide, ce qui correspond à une augmentation de la VDZ de la boue.

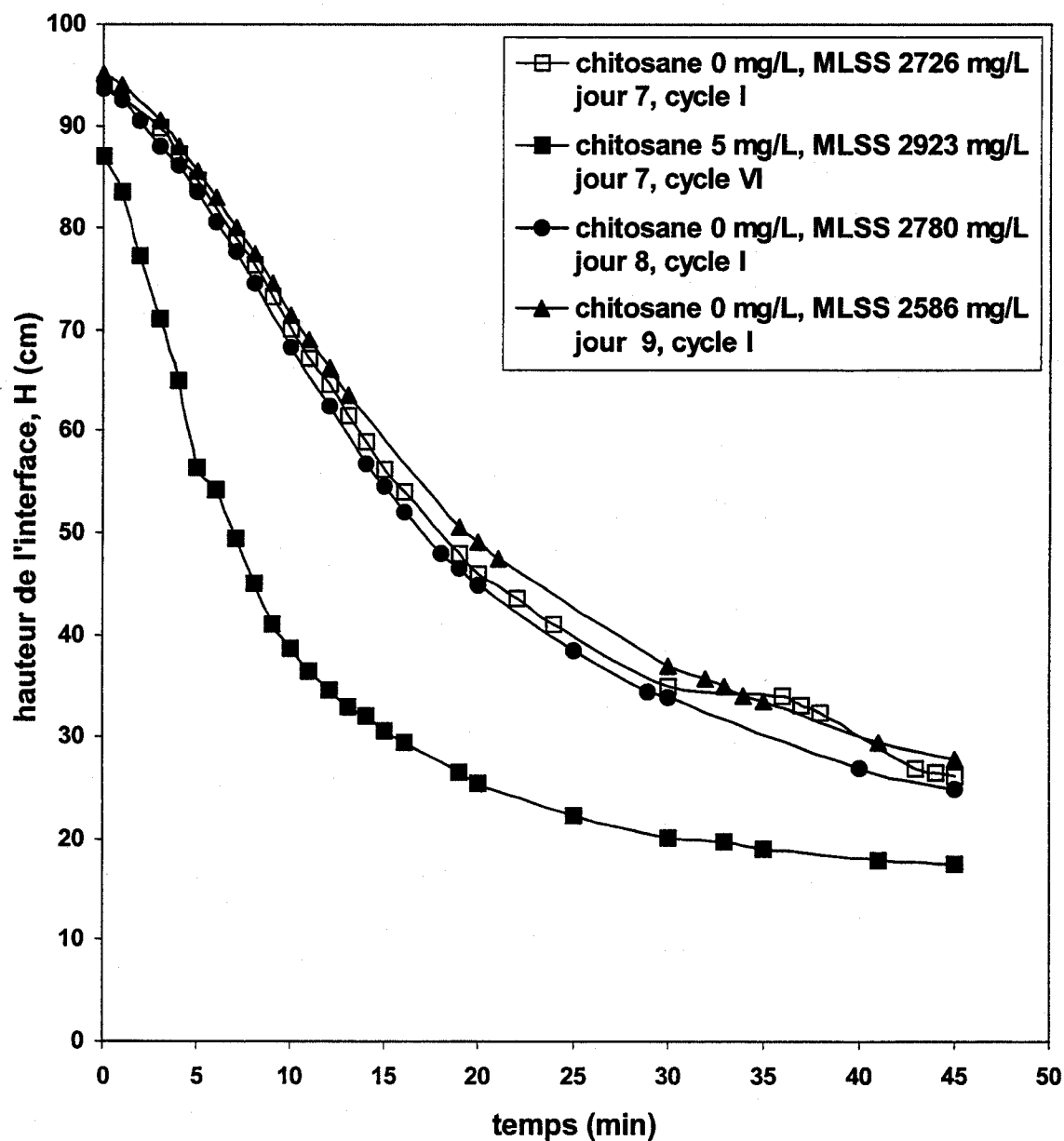


Figure 4.2 : Effet du chitosane au dosage de 5 mg/L sur la décantation de la boue activée dans le RBS pendant la série A.

À partir de ces courbes la VDZ et l'IVB dans le RBS sont calculés (Tableau A.3) et leur variation au cours du temps est présentée sur les Figures 4.3 et 4.4.

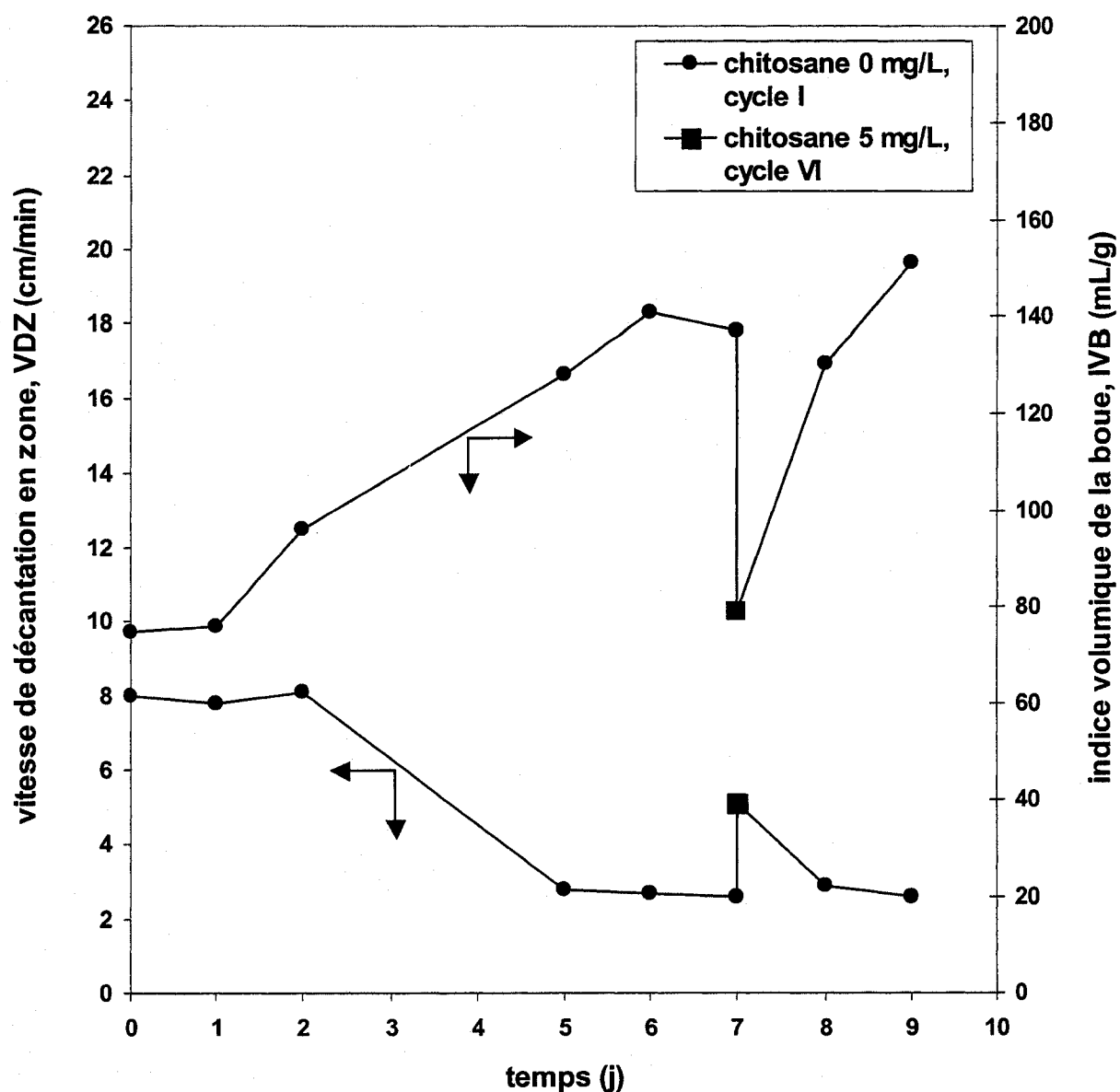


Figure 4.3 : Évolution journalière de la vitesse de décantation en zone (VDZ) et de l'indice volumique de la boue (IVB) dans le RBS pendant la série A.

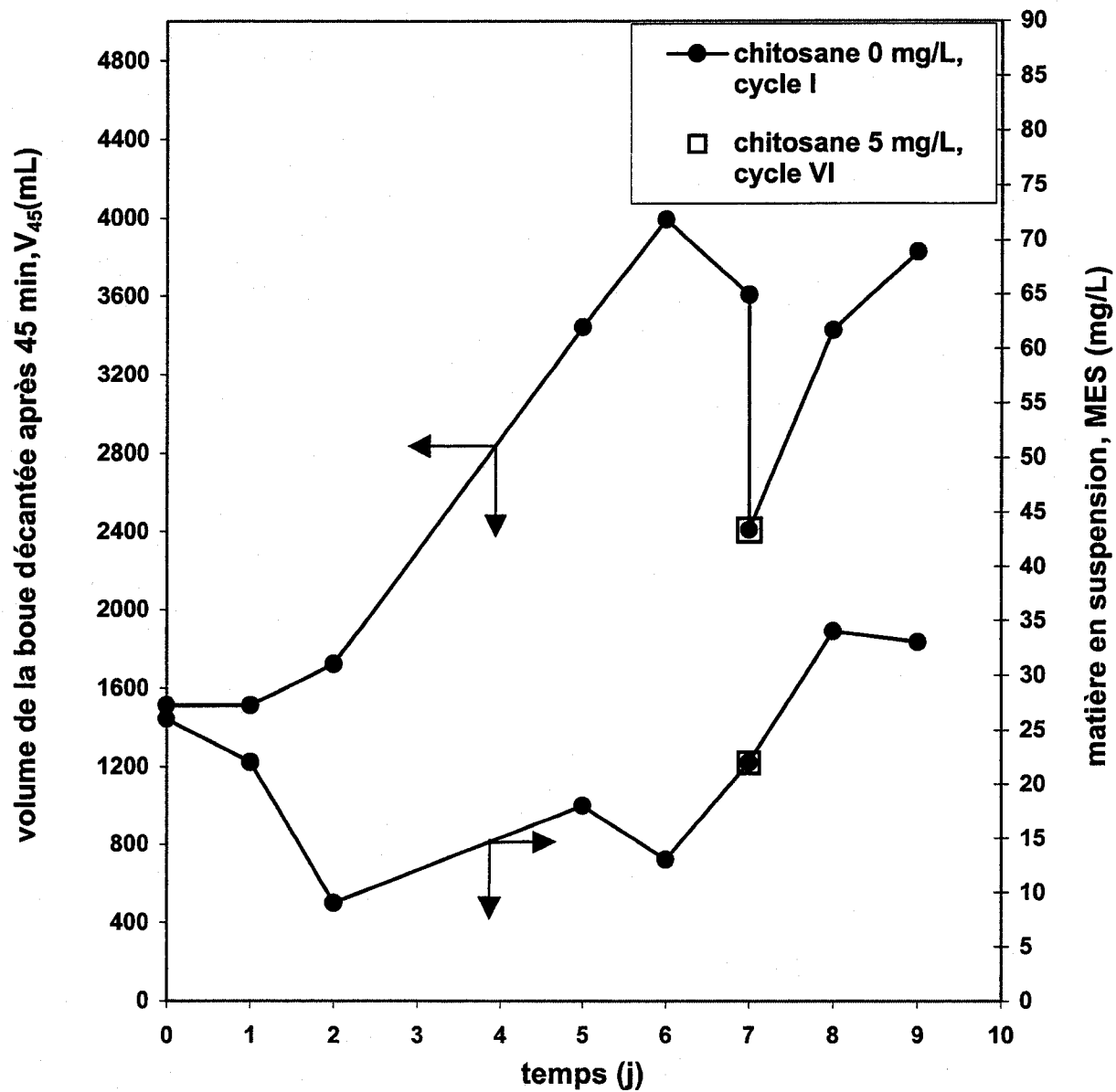


Figure 4.4 : Évolution journalière du volume de la boue décantée après 45 minutes de décantation (V_{45}) et de la matière en suspension (MES) dans l'effluent du RBS pendant la série A.

La Figure 4.3 illustre l'effet positif du chitosane sur les paramètres de décantation, tels que la VDZ et l'IVB. L'ajout du chitosane dans le réacteur a induit une augmentation importante de la VDZ de 2,6 cm/min pendant le premier cycle sans le chitosane à 5,1 cm/min lors du dernier cycle en présence du chitosane (une augmentation de 196 %). En même temps l'addition du chitosane a résulté en une diminution de l'IVB de 137 mL/g à 79 mL/g (une réduction de 58 %).

La Figure 4.4 montre une amélioration de la propriété de compaction de la boue apportée par l'addition du chitosane dans le RBS, ce qui est très important dans le but d'obtenir une boue dense qui exigera un traitement moins coûteux. Le volume de la boue décantée après 45 min diminue d'une valeur de 3600 mL à une valeur de 2400 mL.

La même figure illustre aussi qu'aucun effet particulier sur la concentration de MES dans l'effluent du réacteur juste après l'ajout du chitosane n'est observé. Ainsi, la concentration de MES juste après l'introduction du chitosane (cycle VI) est la même que la concentration sans ajout du chitosane déterminé pendant cycle I, et elle est de 22 mg/L. Il faut noter que sur la Figure 4.4 les points qui correspondent à ces deux mesures sont superposés.

Les effets positifs aperçus juste après l'ajout du chitosane dans le réacteur disparaissent au cours des cycles suivant cet ajout. Ceci est évident à partir des figures présentées antérieurement. Les courbes de décantation reprennent la position d'avant l'ajout du chitosane (Figure 4.2) et la boue activée exerce les mêmes paramètres de décantation (VDZ et IVB) qu'elle a eu avant l'ajout du chitosane (Figure 4.3). Cependant, on remarque un effluent plus turbide qui consiste en petits floccs, ce qui entraîne une augmentation de la concentration de MES (Figure 4.4). La même tendance a été observée dans des essais de décantation de la boue activée en présence du polymère synthétique, Zetag 88 N (VANDERHASSELT et VERSTRAETE, 1999).

Le caractère temporaire des effets positifs du chitosane peut s'expliquer par le bris de la chaîne du chitosane pendant les cycles suivant l'ajout du biopolymère. Ainsi, par la suite le chitosane n'est plus capable d'exercer ses effets bénéfiques sur la décantation de la boue activée. La chaîne du chitosane peut être brisée soit par l'oxygène dissous, soit par le cisaillement. LEE et coll. (1992) relèvent la possibilité de lente dégradation de la chaîne du chitosane par l'oxygène, mais

ils ne donnent pas d'informations plus précises concernant la concentration d'oxygène et le temps nécessaire pour que cette dégradation se produise. Ils rapportent aussi que le cisaillement, causé par les forces hydrodynamiques, favorise le bris de la longue chaîne du chitosane à une longueur critique. Après la formation de cette longueur le cisaillement n'affecte plus la distribution du poids moléculaire du chitosane.

L'augmentation de la quantité de MES dans l'effluent du RBS lors des cycles suivant l'ajout du chitosane peut être considéré comme le symptôme de l'apparition d'une structure fragile du floc de la boue activée. Il est bien connu que cette structure dépend de la présence des ions métalliques tels que Ca^{2+} et Mg^{2+} . BRUUS et coll. (1992) ont trouvé que la chélation des ions de calcium provenant de la matrice de la boue activée par l'addition de l'EGTA induit une augmentation du nombre des petites particules dans le surnageant. Étant donné que le chitosane possède la capacité de chélation des ions métalliques, ce phénomène de chélation avec le calcium et le magnésium pourrait affaiblir la structure du floc de la boue activée, ce qui s'accompagne ensuite d'une augmentation des MES dans l'effluent.

b) Série d'expérience B

Les résultats obtenus pendant la série B sont présentés aux Figures 4.5 à 4.8 et en Tableaux aux annexes A.5 à A.8. La concentration de la MLSS dans le RBS au cours de trois premiers jours de fonctionnement du réacteur est plus élevée par rapport à celle enregistrée pendant la série A et elle atteint 3009 ± 110 mg/L. Cette concentration plus élevée induit une décantation plus lente par rapport celle de la série A. Ainsi, pendant la série B la boue activée possède une VDZ de $5,6 \pm 0,2$ cm/min et un IVB de $87,3 \pm 13,8$ mL/g. On peut constater lors de la série B qu'il se dégage une similitude de comportement du réacteur vis-à-vis de décantation de la boue activée au cours de période de la stabilisation. La boue décante de plus en plus lentement et le profil de la décantation se stabilise après 5 jours (Figure 4.5). Au cours des trois jours suivants la boue activée a une VDZ de $2,6 \pm 0,3$ cm/min et un IVB autour de $98 \pm 5,4$ mL/g. La concentration de la MLSS dans le réacteur de 4238 ± 74 mg/L est plus élevée que celle maintenue pendant la série A en raison du soutirage d'une faible quantité de la liqueur mixte (1100 mL). Par conséquent, l'âge de la boue est plus élevé, d'environ 7 jours.

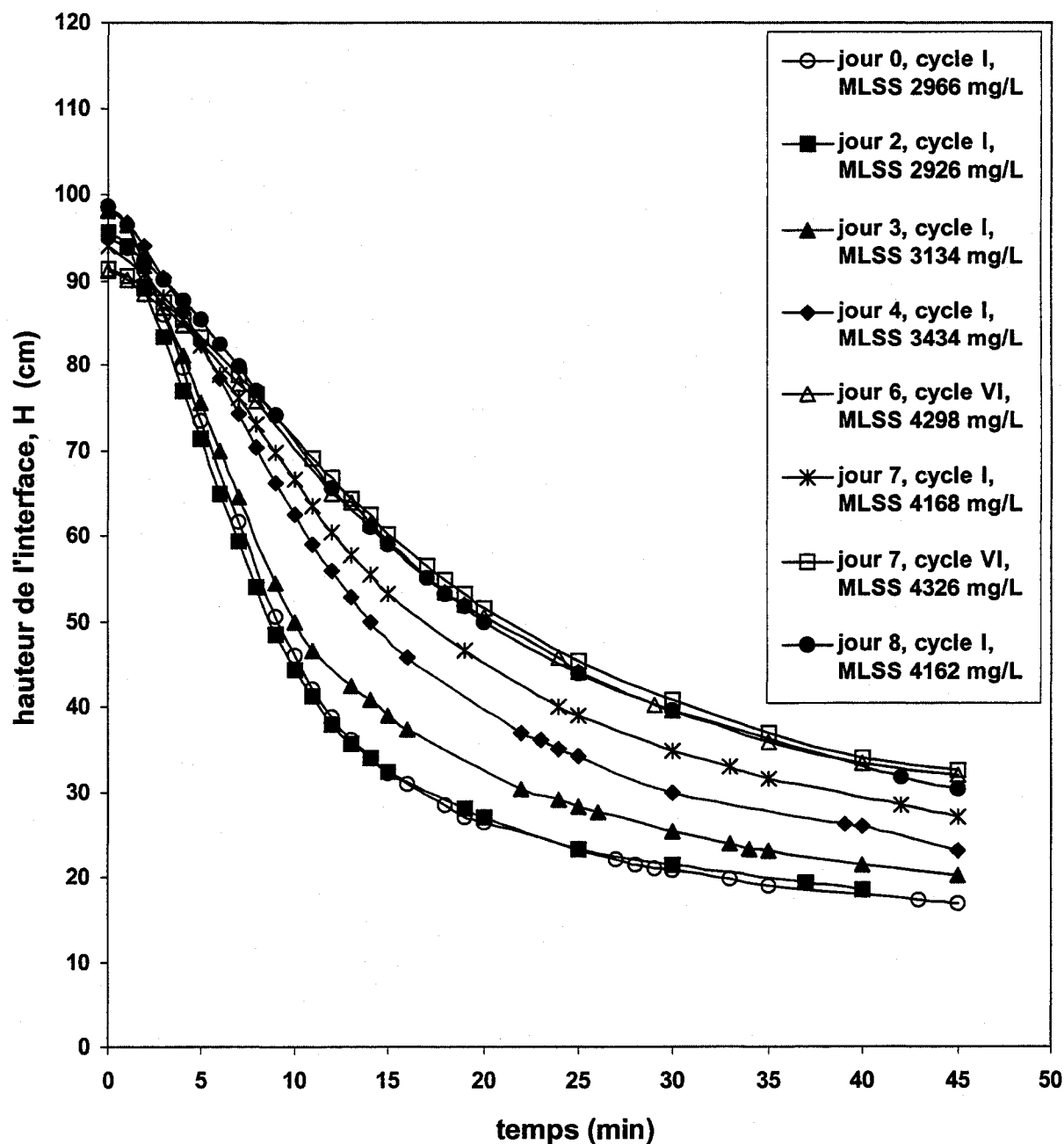


Figure 4.5 : Courbes de décantation de la boue activée dans le RBS lors de la période de la stabilisation du système pendant la série B, sans ajout de chitosane.

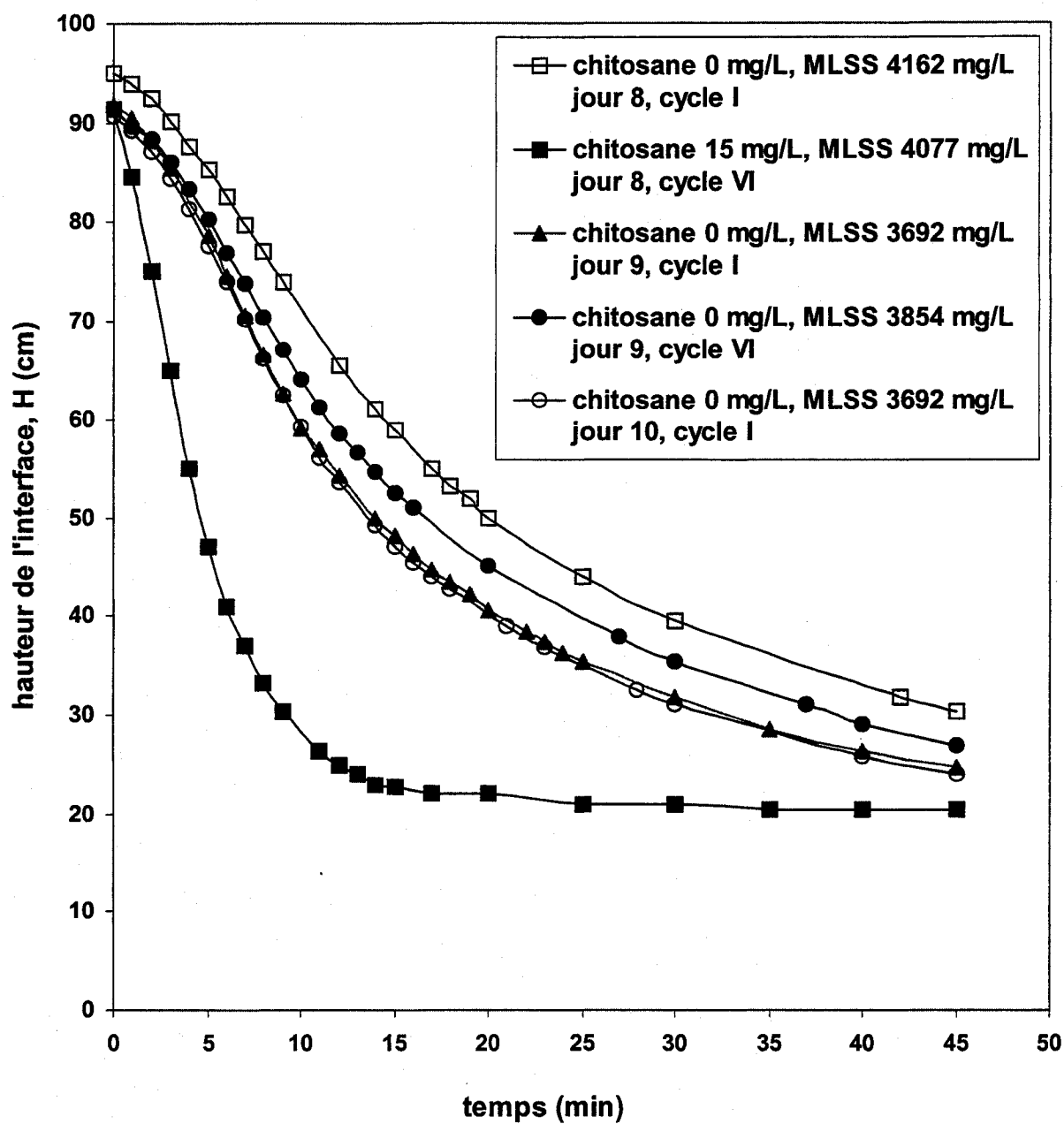


Figure 4.6: Effet du chitosane au dosage de 15 mg/L sur la décantation de la boue activée dans le RBS pendant la série B.

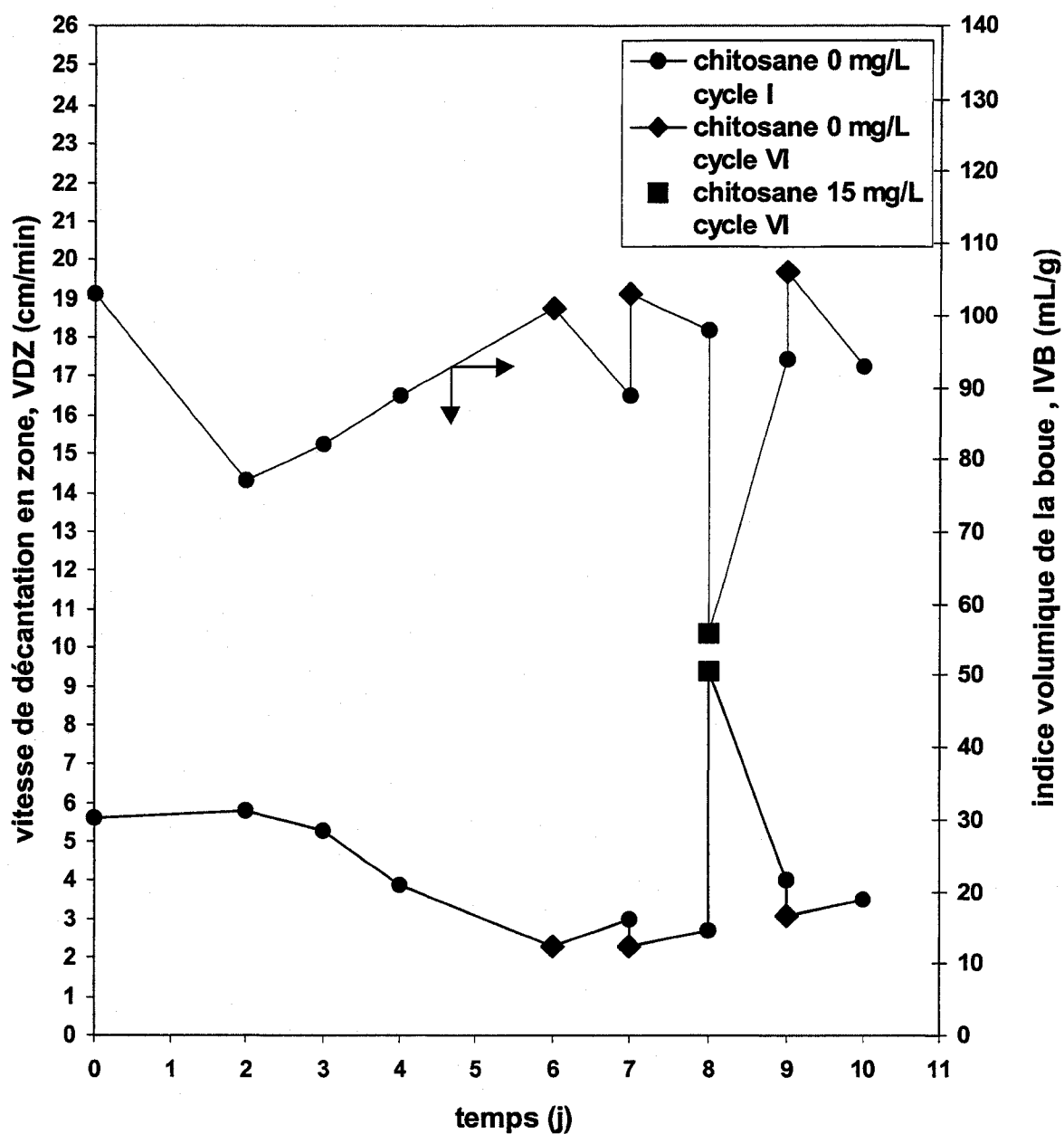


Figure 4. 7 : Évolution journalière de la vitesse de décantation en zone (VDZ) et de l'indice volumique de la boue (IVB) dans le réacteur RBS pendant la série B.

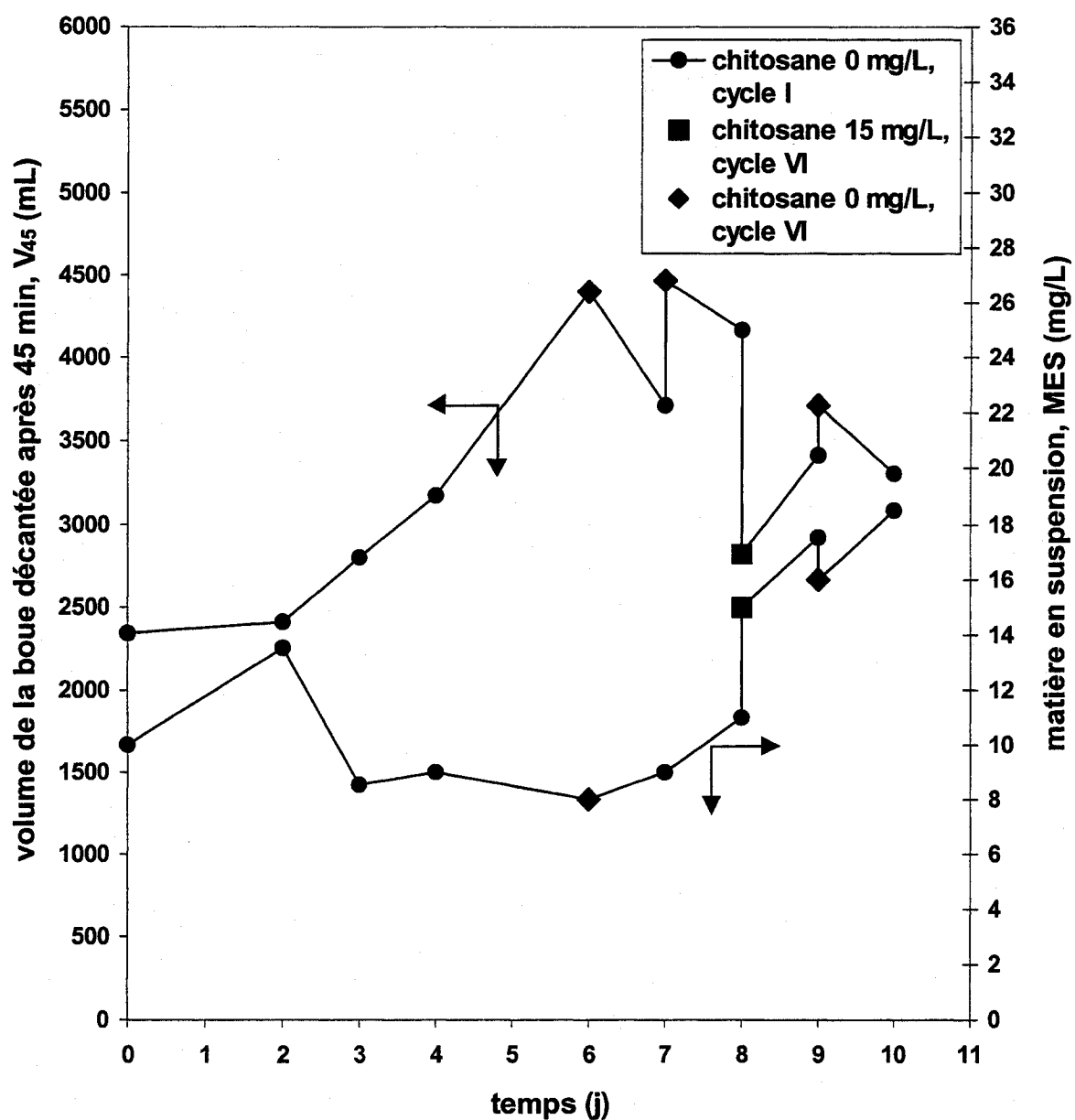


Figure 4.8 : Évolution journalière du volume de la boue décantée après 45 minutes de décantation (V_{45}) et de la matière en suspension (MES) dans l'effluent du réacteur RBS pendant la série B.

Les résultats observés, pendant la série B avec l'ajout de chitosane (Figures 4.6 à 4.8) renforcent ceux obtenus pendant la première série. Le chitosane au dosage de 15 mg/L induit les mêmes effets que le chitosane au dosage de 5 mg/L, seulement cette fois ces derniers sont plus prononcés. Après l'addition du chitosane au cours du dernier cycle de la 8^{ième} journée, une décantation rapide se produit et la hauteur de l'interface de 30 cm après environ 8 minutes de décantation est atteinte. Le jour précédant cette hauteur est obtenue après 45 min de décantation sans chitosane. Sur la Figure 4.7 on remarque que l'addition du chitosane dans la boue activée est accompagnée par une augmentation de la VDZ de 2,7 cm/min lors du premier cycle sans l'ajout du chitosane à 9,4 cm/min lors du dernier cycle en présence du chitosane. En même temps une diminution d'IVB de 100 mL/g à 56 mL/g est remarquée. Le chitosane exerce à nouveau des effets positifs sur la compression de la boue et diminue le V_{45} de la boue d'une valeur de 4172 mL à une valeur de 2822 mL (Figure 4.8).

La seule différence par rapport à la première série est l'augmentation des MES juste après l'ajout du chitosane (Figure 4.8). Trois différentes explications de ce phénomène sont possibles. Premièrement, une VDZ très élevée, causée par l'addition du polymère, peut induire une turbulence assez importante et une efficacité de la filtration réduite lors de la chute de la boue (VANDERHASSELT et coll., 1999). Deuxièmement, ce phénomène peut s'expliquer par le surdosage du chitosane, ce qui ensuite cause la dispersion du floc de la boue activée. La concentration du chitosane, plus élevée par rapport à celle dans la première série, provoque immédiatement une structure du floc moins résistante qui résulte en la formation de petits floccs dans l'effluent du réacteur. Enfin, la concentration plus élevée d'oxygène dissous maintenue dans le RBS d'environ 7-8 mg/L par rapport à celle de 5-6 mg/L lors de la série A, soit vraisemblablement le niveau de turbulence provoqué par l'aération, peut être aussi une de raisons de cette augmentation immédiate des MES.

La même tendance, concernant la disparition des effets bénéfiques sur la décantation et l'apparition des petits floccs dans l'effluent provoquant une concentration de MES doublée au cours des cycles suivants l'ajout du chitosane, est observée au cours de cette deuxième série.

c) Sommaire des deux séries d'expérience

WU (1978) rapporte que la vitesse de décantation de la boue activée assistée par un coagulant dépend directement de la concentration initiale de MLSS, soit une concentration plus élevée de MLSS induit une décantation plus lente. Étant donné que la quantité de MLSS maintenue dans le réacteur pendant la série A et B était différente, il est préférable d'évaluer les effets du chitosane sur la décantation dans le RBS par les changements relatifs de paramètres de décantation de la boue activée. L'effet du chitosane sur la VDZ peut être regardé en terme d'augmentation relative de celle-ci, soit le rapport de la VDZ obtenue en présence du chitosane sur celle obtenue sans la présence du polymère. De façon analogique, on a déterminé une diminution relative de l'IVB et du V_{45} . Le Tableau 4.1 présente un résumé des effets du chitosane sur la décantation de la boue activée dans le RBS.

TABLEAU 4.1 : EFFETS DU CHITOSANE SUR LA DÉCANTATION DE LA BOUE EXPRIMÉS PAR LES CHANGEMENTS RELATIFS DES PARAMÈTRES DE DÉCANTATION

| Série | Chitosane (mg/L) | Rapport d'augmentation de la VDZ | Rapport de diminution de l'IVB | Rapport de diminution du V_{45} |
|-------|---------------------|--|--------------------------------------|---|
| A | 5 | 1,89 | 0,58 | 0,67 |
| B | 15 | 3,5 | 0,57 | 0,68 |

Pour la concentration du chitosane de 5 mg/L la VDZ induite par l'ajout du chitosane est doublée par rapport à celle enregistrée sans le chitosane. Les changements relatifs du IVB et du V_{45} de 0,58 et de 0,67 respectivement, sont aussi importants. Avec une augmentation du chitosane de 5 mg/L à 15 mg/L le changement relatif de la VDZ augmente significativement. Ainsi, pour la concentration du chitosane de 15 mg/L le rapport d'augmentation de la VDZ est 3,5. D'autre part une augmentation de la concentration du chitosane n'influence pas les changements relatifs de

l'IVB et du V_{45} puisque les valeurs entre la série A et la série B sont presque les mêmes. Donc, la capacité du chitosane à influencer la décantation de la boue activée est différente pour les différents paramètres de décantation.

À partir des Tableaux A.3 et A.6 de l'annexe on a construit la Figure 4.9 qui présente la VDZ en fonction de la MLSS. Cette figure montre que la VDZ diminue avec une augmentation de la MLSS dans la liqueur mixte. Ce phénomène est déjà connu et il est mentionné par plusieurs auteurs (QUAZIM, 1999; GRAY 1990).

Les résultats obtenus montrent que l'ajout du chitosane améliore temporairement la décantation de la boue activée dans le RBS, ce qui est probablement le résultat de son interaction avec les PEC sécrétés sur la surface bactérienne. ERIKSSON et HÄRDIN (1987) et BARAN (1987) ont postulé que le chitosane réagit par les liaisons hydrogènes et par l'interaction électrostatique avec les PEC présents sur la surface bactérienne, ce qui améliore le pontage biopolymérique. Suite à l'amélioration de la formation d'un réseau polymérique par l'addition du chitosane, un gros floc, qui décante rapidement, est formé.

Plusieurs explications sont possibles pour comprendre l'effet temporaire du chitosane exercé sur les propriétés de décantation de la boue activée. D'abord les liaisons hydrogène formées entre le chitosane et les PEC sont assez faibles énergiquement et comme telles elles peuvent se détruire facilement par l'aération et le mélange lors des cycles suivant l'ajout du chitosane. Aussi, il y a possibilité de destruction de la chaîne du chitosane soit par l'oxygène, soit par le cisaillement. Finalement, la chélation des ions métalliques (Ca et Mg) par le chitosane peut affecter la structure du floc de la boue activée de façon qu'elle devienne plus fragile. Les petits flocs se détachent du gros floc. Ainsi, une analyse plus approfondie concernant le dosage optimal du chitosane et du mécanisme de la floculation de la boue activée en présence du chitosane sera nécessaire en raison de la possibilité de détériorer la qualité d'effluent par une augmentation des MES.

Afin de maintenir les effets bénéfiques du chitosane sur la décantation il semble nécessaire de réaliser le dosage régulier du chitosane au cours de chaque cycle. Il reste à vérifier quel effet le chitosane peut exercer sur la décantation de la boue activée sous ces conditions de

fonctionnement du réacteur. Particulièrement il reste à constater si le dosage du chitosane diminue avec le temps en raison de la possibilité des effets cumulatifs et si la possibilité de redispersion des floccs est augmentée ou réduite par cette addition continue du chitosane.

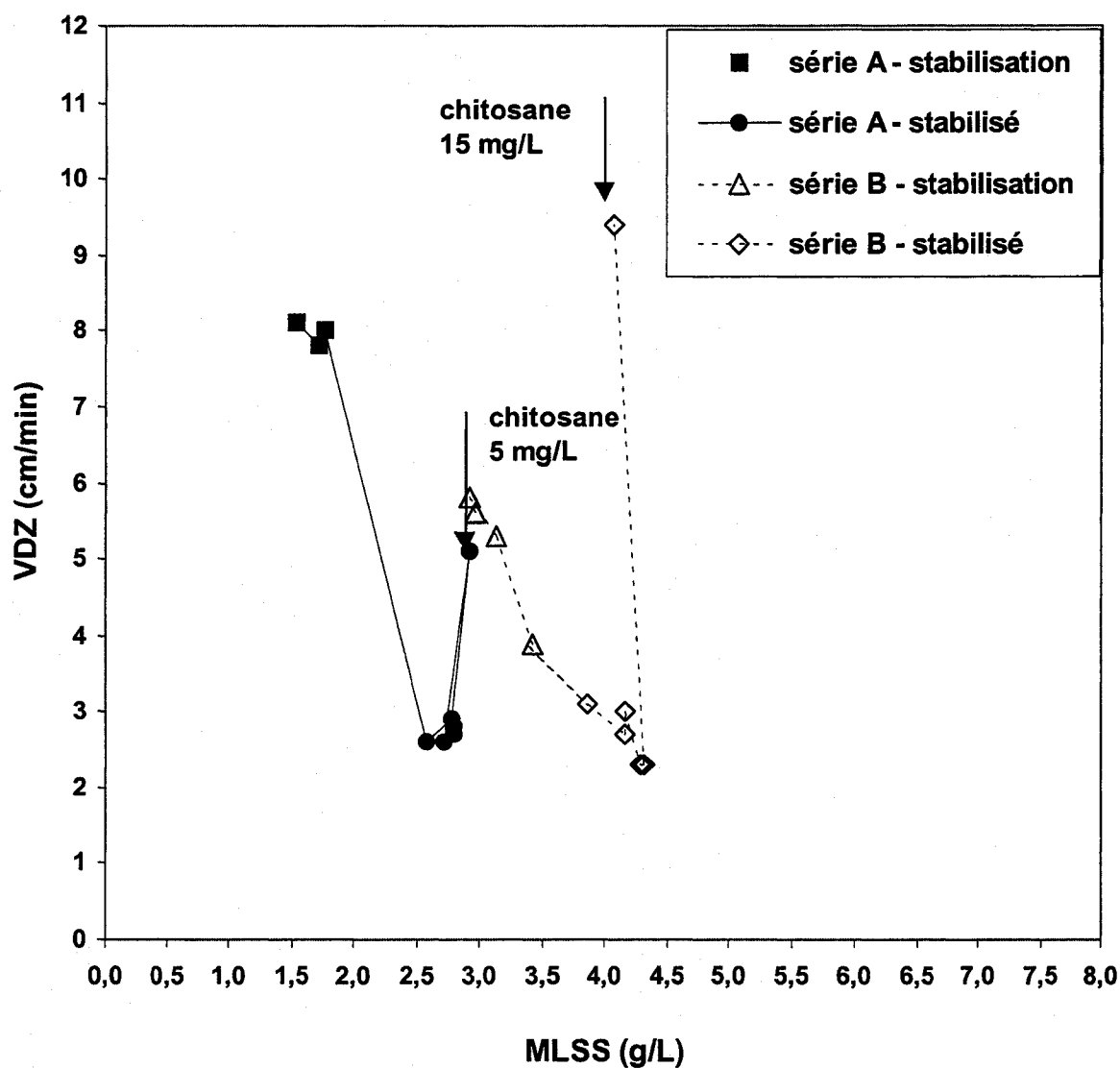


Figure 4.9 : La vitesse de décantation en zone (VDZ) versus la concentration de la matière en suspension dans la liqueur mixte (MLSS).

4.1.2 Essais dans les cylindres gradués

En vue d'évaluer les effets du chitosane sur la décantation de la boue activée en fonction des différents dosages du chitosane on a réalisé des essais de décantation de la boue activée dans des cylindres gradués au cours de cinq différentes séries. Les données numériques de ces expériences sont présentées en annexe B.

Pour deux premières séries (A et B), chaque matin après la période de stabilisation on a réalisé un essai de décantation dans un cylindre avec une concentration particulière de chitosane. La boue activée utilisée est celle soutirée régulièrement chaque matin en vue de maintenir un âge de la boue particulier dans le réacteur.

a) Série d'expériences A

La Figure 4.10 illustre les différents profils de décantation obtenus avec les différentes concentrations de chitosane ajoutées dans la boue activée soutirée au cours de cinq jours consécutifs lors de la série A. Les données correspondantes sont présentées au Tableau B.1 en annexe.

À partir de cette figure on constate que l'augmentation de la concentration de chitosane entraîne une décantation plus rapide. Cependant, la boue activée avec la concentration de chitosane de 5 mg/L montre deux différentes courbes de décantation enregistrées lors de la 4^{ième} et la 7^{ième} journée d'opération du RBS. Cette différence peut être causée soit par le changement de l'âge de la boue, soit par la différence en intensité d'agitation. En effet, les prélèvements des échantillons au cours du premier cycle à partir de la cinquième journée provoquent la diminution de l'âge de la boue de 10,5 j à environ 6 j, ce qui possiblement résulte en un changement de la nature du floc, premièrement de la quantité des PEC. Ainsi il est possible que la même concentration de chitosane de 5 mg/L entraîne à deux différentes courbes de décantation, dépendamment de l'âge de la boue. Pour l'âge de la boue plus élevé d'environ 10,5 j on a une décantation plus vite que pour l'âge de la boue de 6 j. En effet, la courbe de décantation pour la boue ayant un âge de la

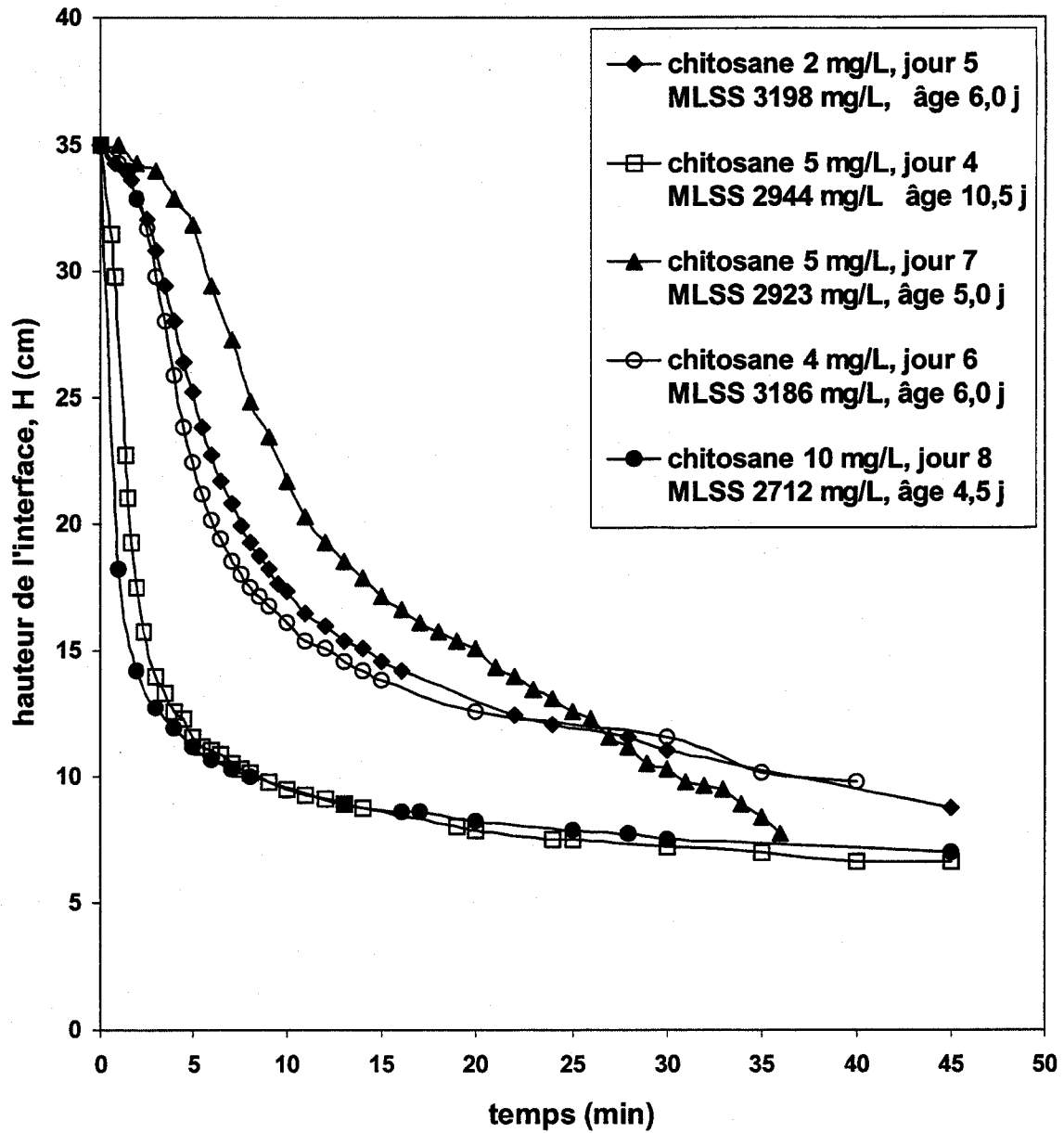


Figure 4.10 : Courbes de décantation de la boue activée dans des cylindres gradués en fonction des différents dosages de chitosane pendant la série A.

boue de 10,5 j et la concentration de chitosane de 5 mg/L s'approchent à la courbe de décantation de la boue ayant un âge de la boue plus faible de 4,5 j et la concentration de 10 mg/L de chitosane (dans ce cas on n'a pas considéré la concentration de chitosane cumulative étant donné que l'essai de décantation avec 10 mg/L de chitosane est réalisé un jour après l'ajout du chitosane dans le réacteur, donc avec la boue qui a déjà possédé une quantité de chitosane).

Si on supporte l'explication donnée antérieurement que la floculation de la boue activée par le chitosane est due à l'interaction chitosane-PEC, il n'est pas surprenant que l'efficacité du chitosane pour la décantation de la boue dépende de l'âge de la boue, qui à son tour altère la concentration des PEC dans la boue activée. Une augmentation de l'âge de la boue augmente la production des PEC, ce qui probablement peut augmenter l'efficacité du chitosane. HUGHES et coll. (1994) ont rapporté une réduction de l'efficacité du chitosane à floculer la bactérie *Zymomonas mobilis* avec une augmentation de la quantité des polymères extracellulaires enlevées de la surface bactérienne.

Un résumé des données obtenues lors des essais dans des cylindres gradués au cours de la série A est présenté au Tableau 4.2.

TABLEAU 4.2 : DONNÉES SUR LA DÉCANTATION DE LA BOUE ACTIVÉE DANS DES CYLINDRES GRADUÉS POUR LES DIFFÉRENTES CONCENTRATIONS DE CHITOSANE AJOUTÉES LORS DE LA SÉRIE A.

| | | Concentration de chitosane (mg/L) | | | | |
|------------------|----------|-----------------------------------|------|------|------|------|
| | | 2 | 4 | 5 | 5 | 10 |
| Temps | (j) | 5 | 6 | 4 | 7 | 8 |
| MLSS | (mg/L) | 3198 | 3186 | 2944 | 2923 | 2712 |
| IVB _C | (mL/g) | 99 | 103 | 70 | 92 | 79 |
| V _C | (cm/min) | 2,8 | 3,6 | 11,6 | 4,2 | 16,8 |
| θ _C | (j) | 6,0 | 6,0 | 10,5 | 5,0 | 4,5 |

On remarque que l'augmentation de la concentration de chitosane induit l'augmentation de la vitesse de décantation pour l'âge de boue autour de 5,5 j. D'un autre côté, la V_C pour cet âge de boue et la concentration de chitosane de 5 mg/L est 2,7 fois plus petite que la V_C pour la même concentration du polymère et l'âge de boue de 10,5 j. L' IVB_C n'a pas été influencé par l'ajout du chitosane aux concentrations de 4 et 5 mg/L. Ce manque d'effets positifs appréciables sur l' IVB peut s'expliquer par l'absence d'agitation lente, qui est nécessaire pour éliminer les effets négatifs de paroi et du pontage biopolymérique induisant la capture d'un considérable volume d'eau entre les floccs.

Il semble intéressant de comparer les paramètres de décantation obtenus dans le cylindre gradué avec ceux enregistrés lors de la décantation dans le RBS, étant donné que le polymère en concentration de 5 mg/L a été introduit à la fin de la 7^{ième} journée dans le cylindre gradué ainsi que dans le RBS. Ainsi, la VDZ notée dans le RBS est 1,2 fois plus grande que la V_C observée dans le cylindre, tandis que l' IVB enregistré dans le RBS est 1,2 fois plus petit que IVB_C noté dans le cylindre gradué. Cette différence est probablement reliée à l'absence d'agitation dans le cylindre ainsi qu'une hauteur initiale plus petite par rapport à celle du RBS.

b) Série d'expériences B

Pendant la série B les essais de décantation dans des cylindres sont réalisés au cours de trois jours consécutifs avec les concentrations de chitosane de 10, 15 et 0 mg/L. Les courbes de décantation enregistrées sont données à la Figure 4.11 et au Tableau B.2 en annexe B.

La réalisation de la décantation sans chitosane, condition qui a été omise pendant la série A, permet de faire une comparaison de la décantation de la boue activée en présence et en absence du biopolymère. Cependant, cette comparaison doit être regardée avec précaution étant donné que l'âge de boue est tombé de 11,0 j lors de la 6^{ième} journée à 6,5 j pendant la 8^{ième} journée, ce qui fait ressortir la possibilité du changement de la nature du flocc. Les concentrations de chitosane de 10 et 15 mg/L apportent une amélioration considérable de la décantation de la boue activée. En présence du polymère, la boue a décantée à une hauteur au-dessous de 15 cm après 5

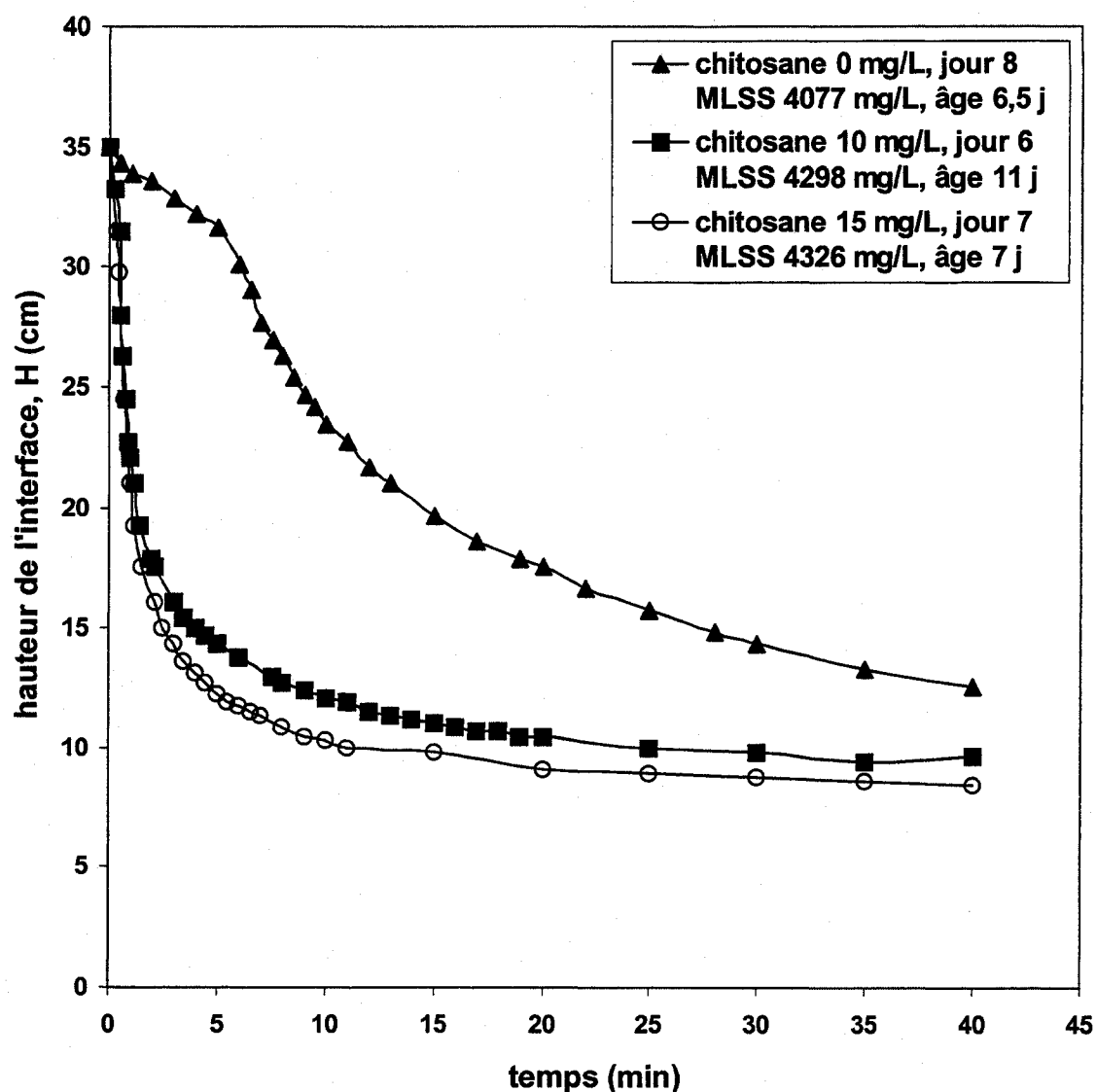


Figure 4.11 : Courbes de décantation de la boue activée dans des cylindres gradués en fonction des différents dosages de chitosane pendant la série B.

minutes de décantation tandis que cette hauteur n'a pas été atteinte même à la fin de la décantation en l'absence de chitosane. De plus, la boue avec le chitosane n'a pas montré la compression supplémentaire après 10 minutes de décantation, tandis que celle sans le chitosane a exercé une compression continue jusqu'à la fin de la décantation. Donc, le chitosane ajouté dans la boue pourrait raccourcir significativement le temps alloué à la phase de décantation de la boue active.

Les paramètres de décantation déterminés à partir des courbes de décantation présentées précédemment sont données au Tableau 4.3. La boue sans chitosane possède une V_C de 2,0 cm/min et un IVB_C de 101 mL/g. L'addition de chitosane au dosage de 10 mg/L induit la V_C de 14,3 cm/min et l' IVB_C de 65 mL/g. De même la concentration de chitosane de 15 mg/L a augmenté la V_C à 15,4 cm/min et l' IVB_C a été réduit à 58 mL/g. Donc, l'augmentation de la concentration de chitosane de 10 à 15 mg/L n'a pas entraîné une augmentation importante de la V_C . Pourtant dans ce cas on doit tenir compte du changement de l'âge de boue qui s'est probablement déroulé au cours de ces essais en raison des prélèvements des échantillons à analyser.

TABLEAU 4.3 : DONNÉES SUR LA DÉCANTATION DE LA BOUE ACTIVÉE DANS DES CYLINDRES GRADUÉS POUR LES DIFFÉRENTES CONCENTRATIONS DE CHITOSANE LORS DE LA SÉRIE B.

| | | Concentration de chitosane (mg/L) | | |
|------------|----------|-----------------------------------|------|------|
| | | 0 | 10 | 15 |
| Temps | (j) | 8 | 6 | 7 |
| MLSS | (mg/L) | 4077 | 4298 | 4326 |
| IVB_C | (mL/g) | 101 | 65 | 58 |
| V_C | (cm/min) | 2,0 | 14,3 | 15,4 |
| θ_C | (j) | 6,5 | 11,0 | 7,0 |

Si on compare les paramètres de décantation obtenus lors des séries A et B, une augmentation de la vitesse de décantation est observée avec l'augmentation de la concentration de chitosane ajouté dans la boue ayant environ le même θ_C . Ainsi, pour un θ_C d'environ 11 j la vitesse de décantation est plus élevée pour la concentration de chitosane de 10 mg/L (série B) par rapport à celle enregistrée lors d'ajout de chitosane en concentration de 5 mg/L (série A). Pour un âge de boue faible, autour de 6 j, la V_C augmente aussi avec l'augmentation de la concentration du chitosane de 5 à 10 mg/L.

Les résultats présentés suggèrent que l'efficacité du chitosane afin d'améliorer la décantation puisse dépendre de la nature du floc. On suppose que cette dépendance est reliée principalement

à la quantité des biopolymères sécrétés par les bactéries. Ainsi, le dosage optimal du chitosane peut varier avec la variation de l'âge de boue. Plus l'âge de la boue est élevé, plus les effets bénéfiques du chitosane en concentration particulière seront prononcés en raison de la plus grande quantité de biopolymères qui peuvent réagir avec le polymère ajouté. Pourtant, c'est une hypothèse qui doit être vérifiée lors de recherches futures.

En raison de la possibilité de la variation de la nature de la boue avec la variation de l'âge de la boue au cours du temps, c'était préférable d'évaluer les effets du chitosane sur la décantation de la boue activée pour un âge de la boue particulier, ce qu'on a juste fait pendant les séries C, D et E.

c) Série d'expériences C

Pendant la série C on a réalisé l'essai de décantation dans deux cylindres à chaque matin avec et sans chitosane, ce qui a permis de faire une comparaison de la courbe de décantation sans chitosane avec la courbe de décantation notée en présence de ce polymère. Les courbes obtenues sont présentées aux Figures 4.12 à 4.18 et aux Tableaux B.3, B.4 et B.5.

Tels que montré sur ces figures, le chitosane en concentrations faibles n'a pas eu d'effets positifs remarquables sur la décantation. Une très faible amélioration est apportée à la zone de la décantation ralentie, alors qu'aucun effet positif du chitosane n'est remarqué pour les faibles concentrations sur la zone de compression. De plus, pour les concentrations de chitosane de 3 et 4 mg/L (Figures 4.16 et 4.18) on remarque le croisement des courbes de décantation avec et sans polymère. Ceci se peut expliquer par l'absence d'agitation lente dans les cylindres, ce qui pourrait favoriser la capture d'eau entre les floccs en raison de pontages biopolymériques.

Les paramètres de décantation, déterminés à partir des courbes de décantation et de la concentration initiale de la boue exprimée en mg MLSS/L, sont donnés au Tableau B.6 et leur variation en fonction de la concentration de chitosane est illustrée aux Figures 4.19 et 4.20.

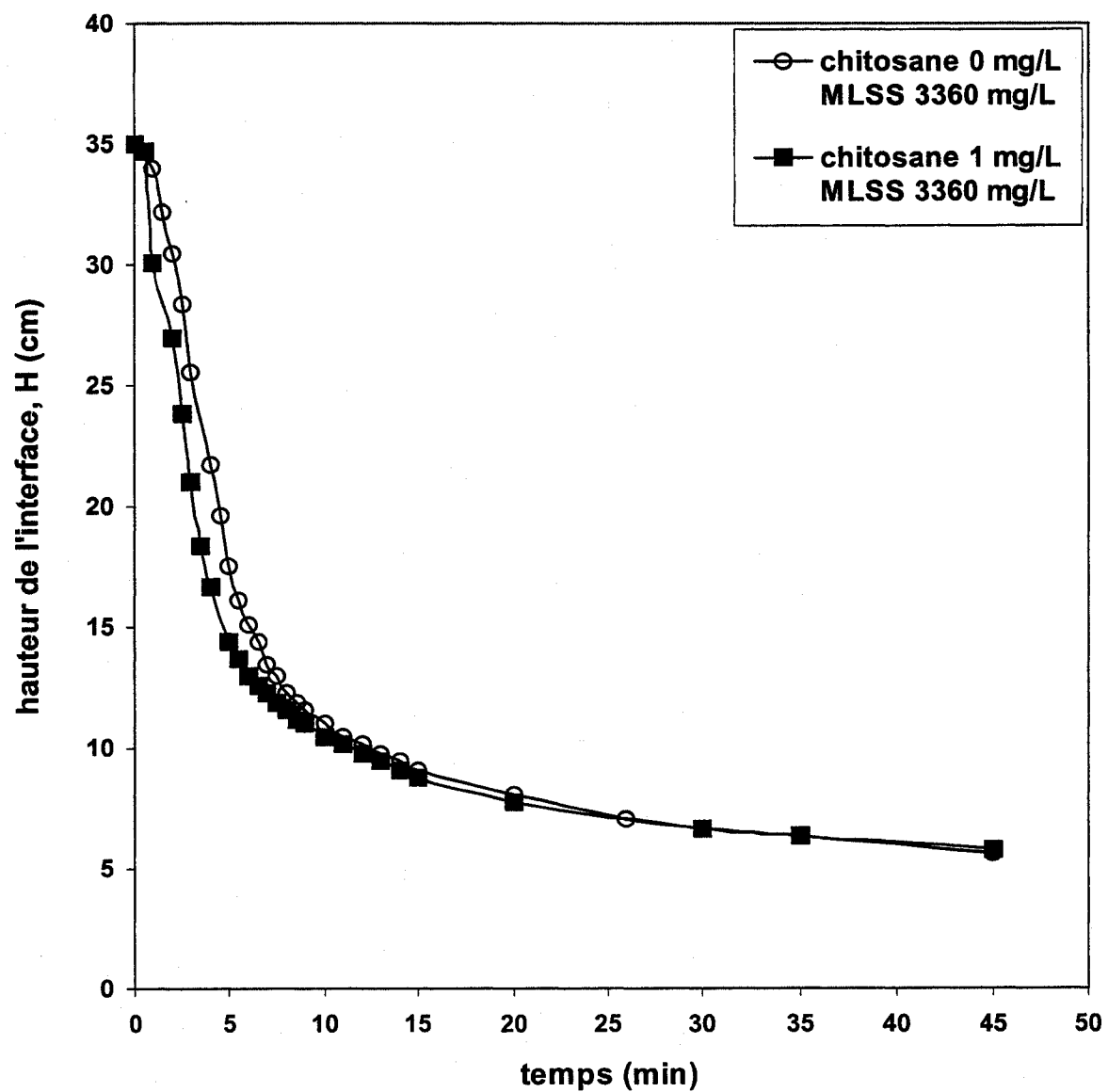


Figure 4.12 : L'effet du chitosane au dosage de 1 mg/L sur la décantation de la boue activée dans un cylindre gradué, série C, jour 8.

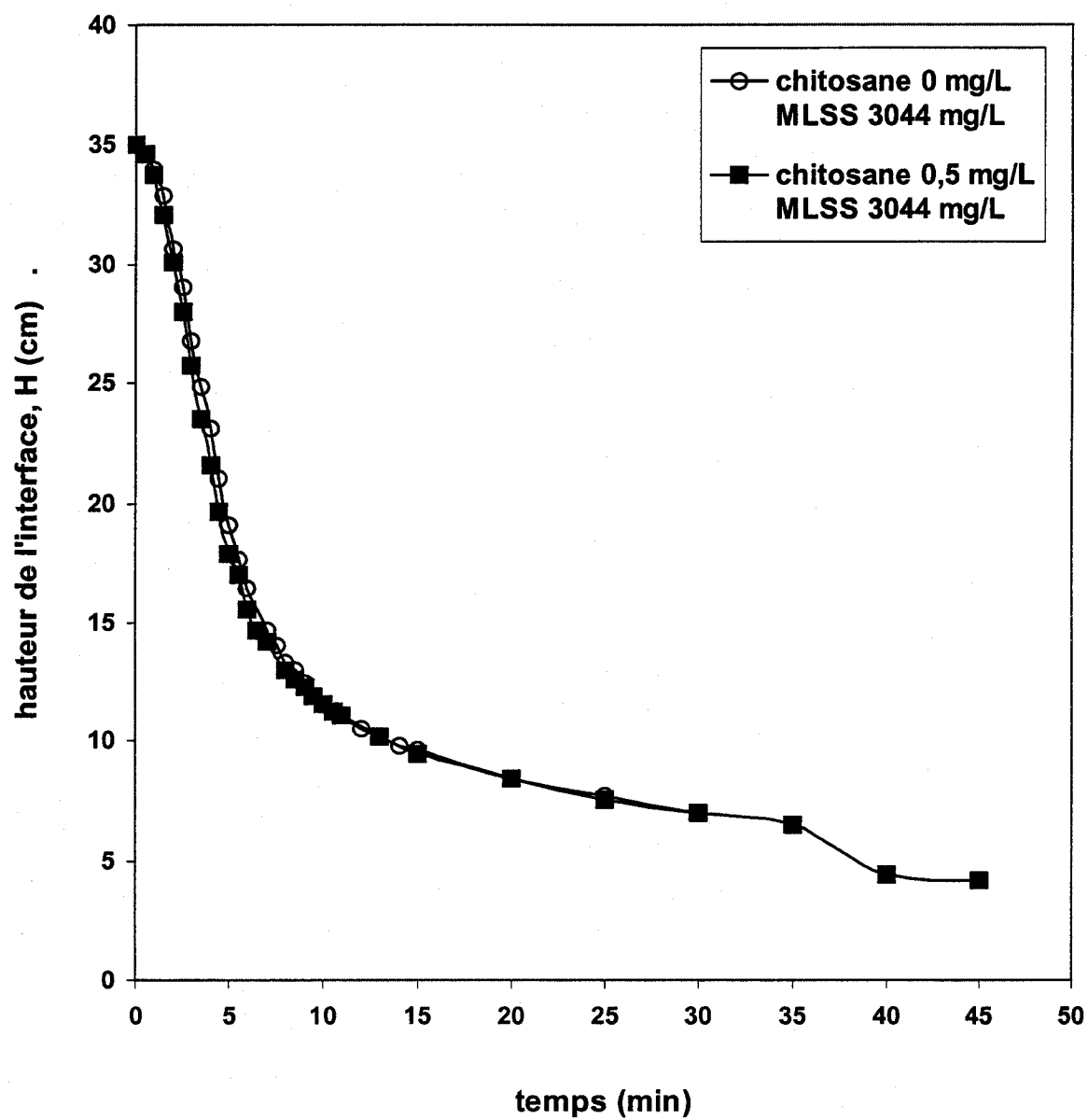


Figure 4.13 : L'effet du chitosane au dosage de 0,5 mg/L sur la décantation de la boue activée dans un cylindre gradué, série C, jour 9.

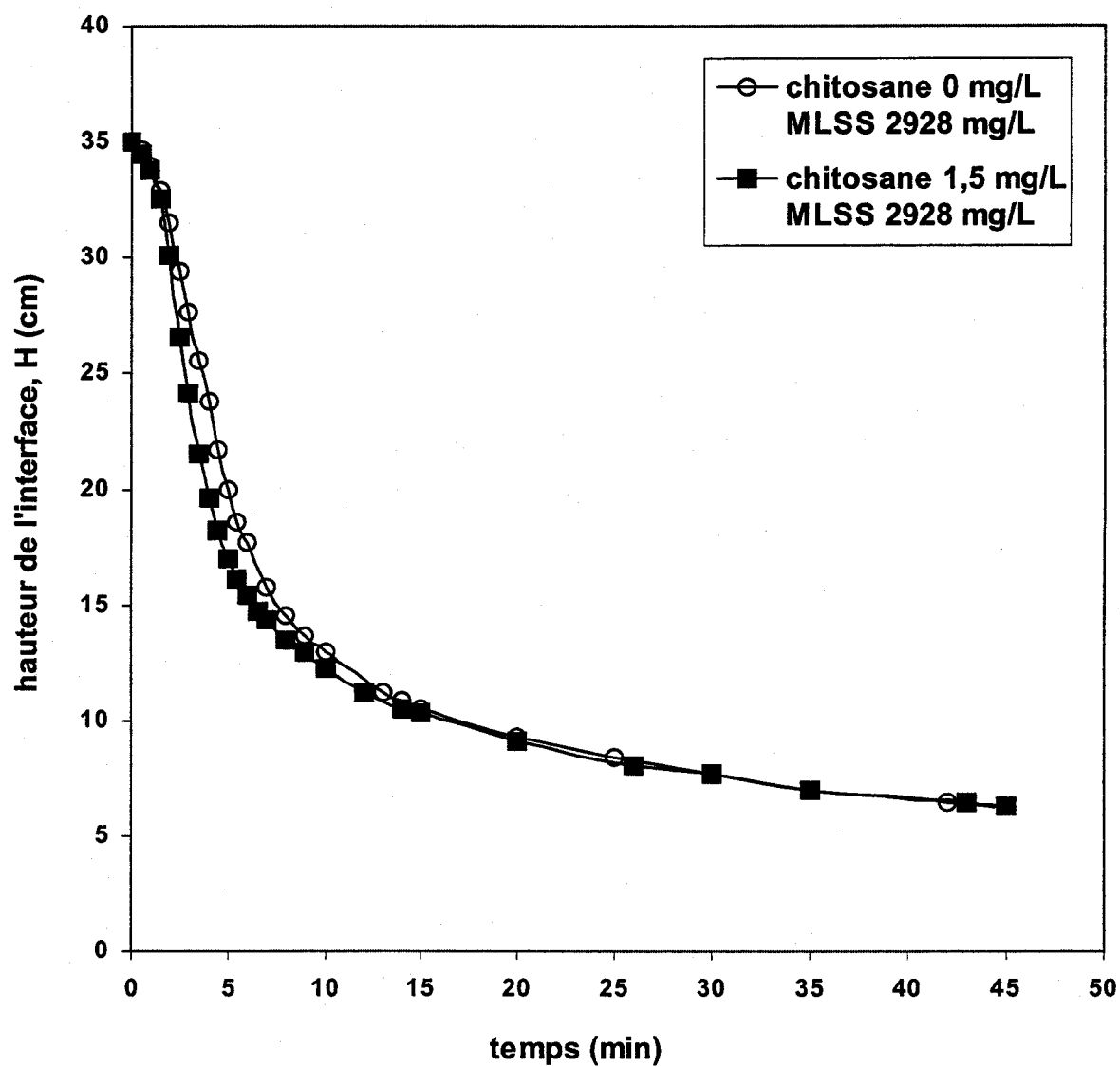


Figure 4.14: L'effet du chitosane au dosage de 1,5 mg/L sur la décantation de la boue activée dans un cylindre gradué, série C, jour 10.

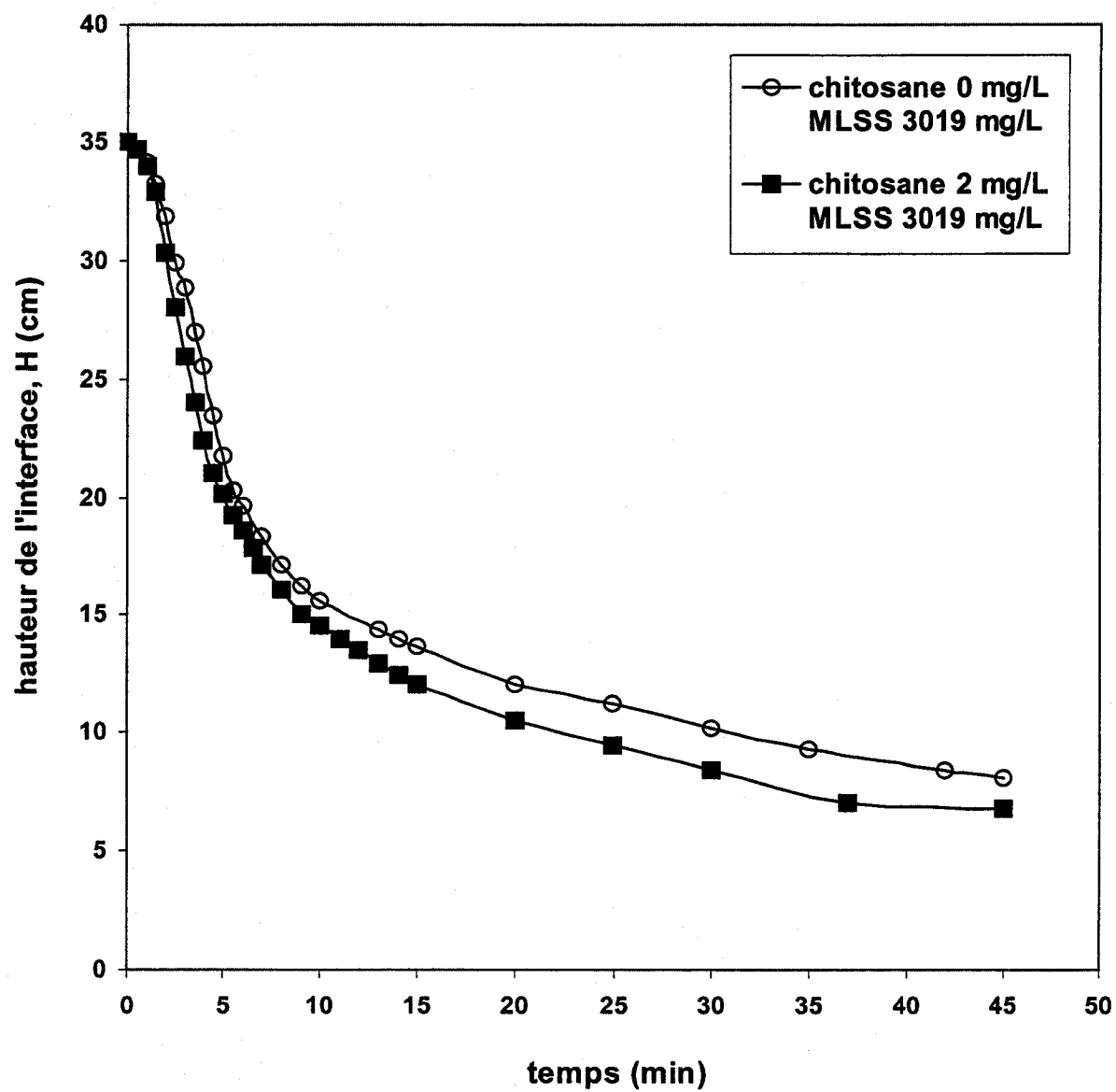


Figure 4.15: L'effet du chitosane au dosage du 2 mg/L sur la décantation de la boue activée dans un cylindre gradué, série C, jour 11.

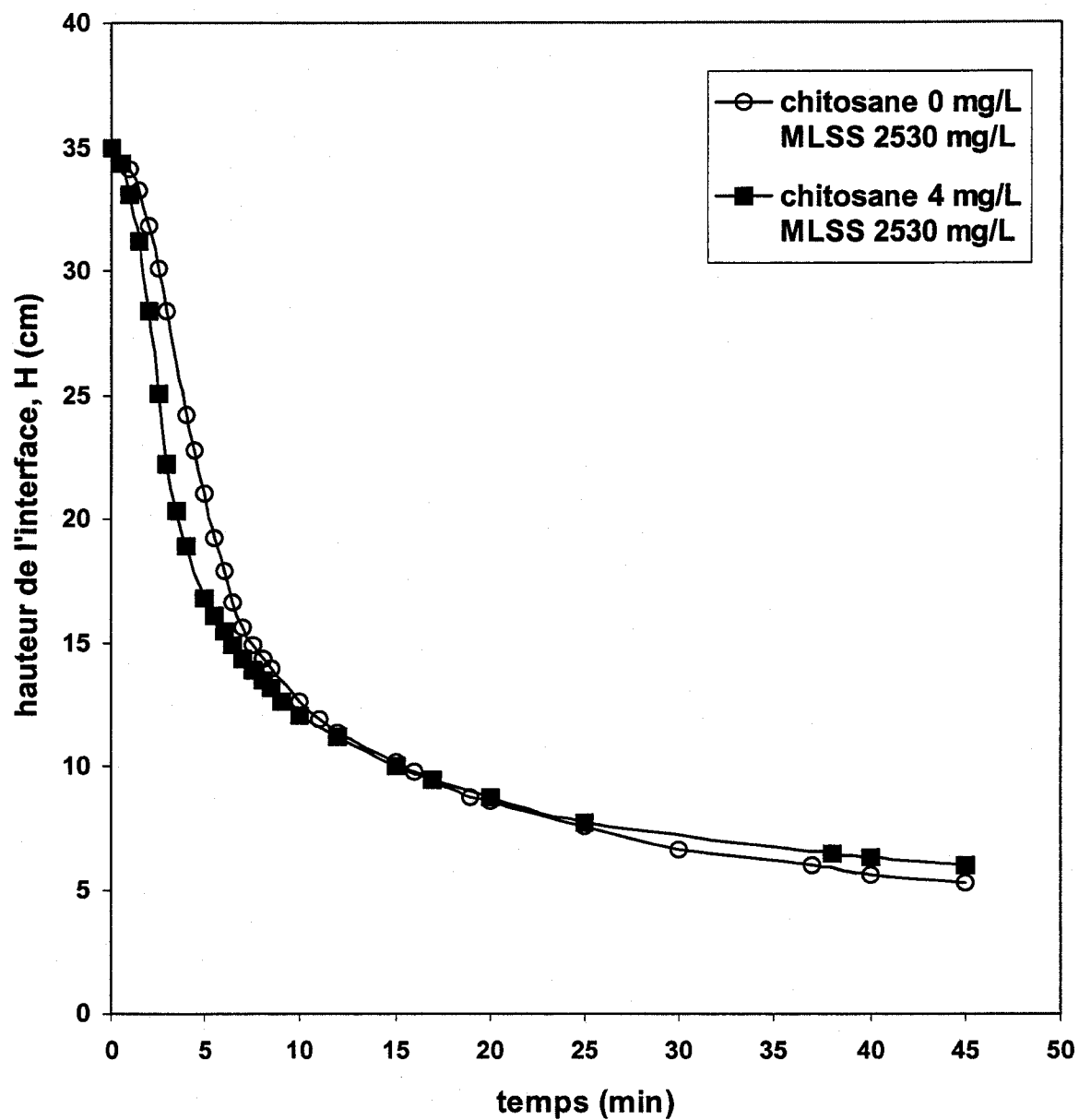


Figure 4.16: L'effet du chitosane au dosage de 4 mg/L sur la décantation de la boue activée dans un cylindre gradué, série C, jour 14.

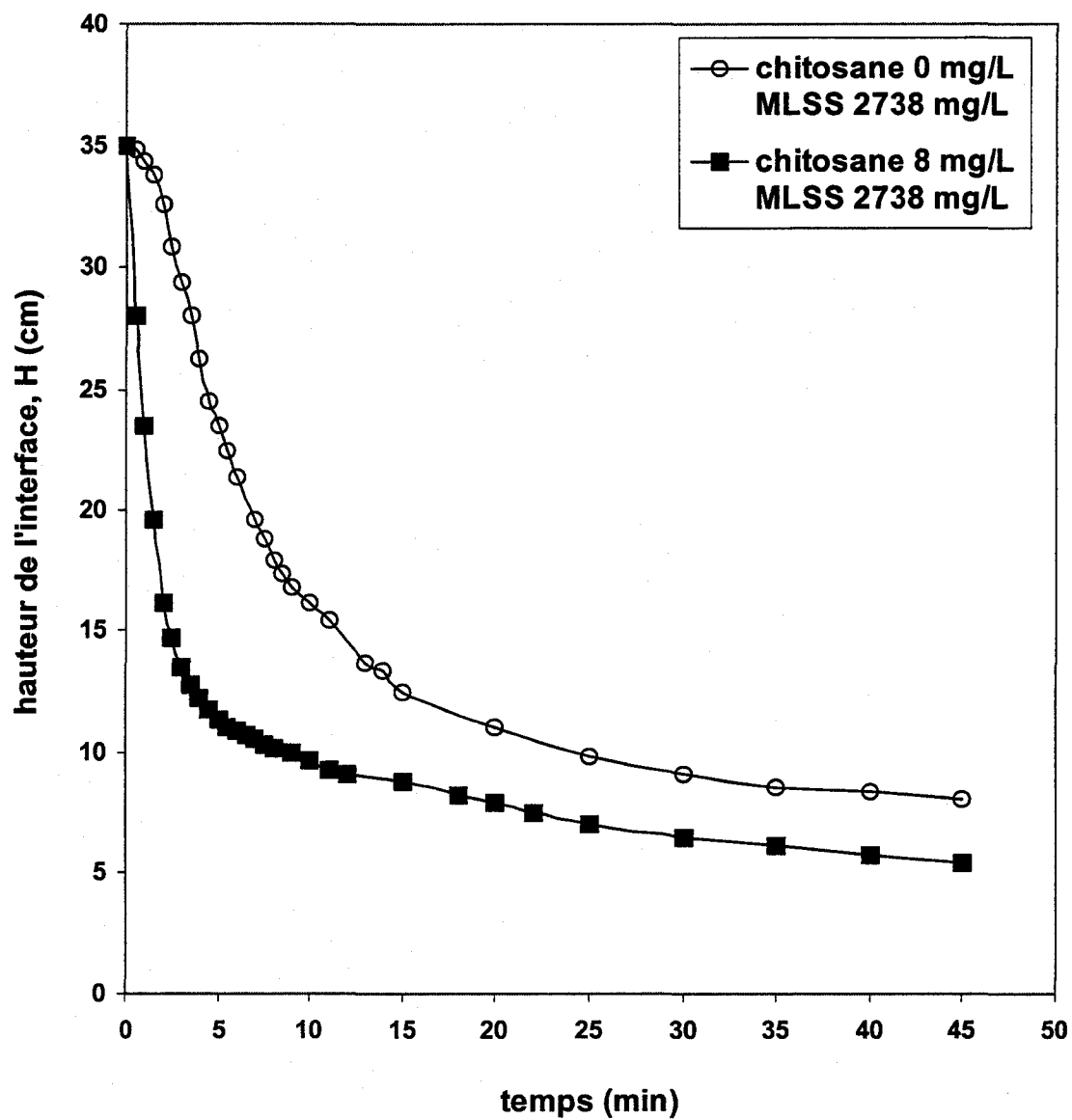


Figure 4.17: L'effet du chitosane au dosage du 8 mg/L sur la décantation de la boue activée dans un cylindre gradué, série C, jour 15.

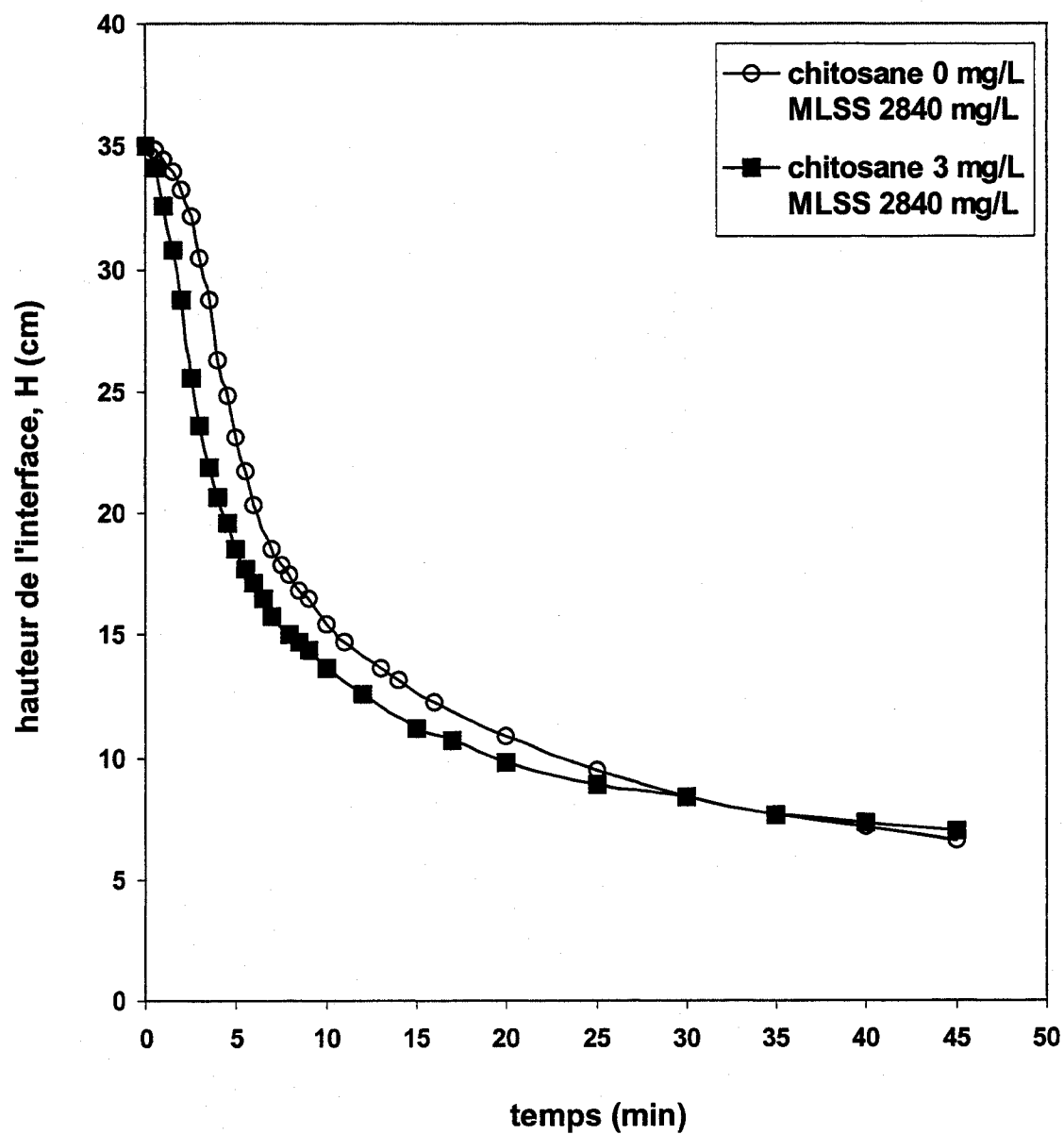


Figure 4.18: L'effet du chitosane au dosage de 3 mg/L sur la décantation de la boue activée dans un cylindre gradué, série C, jour 16.

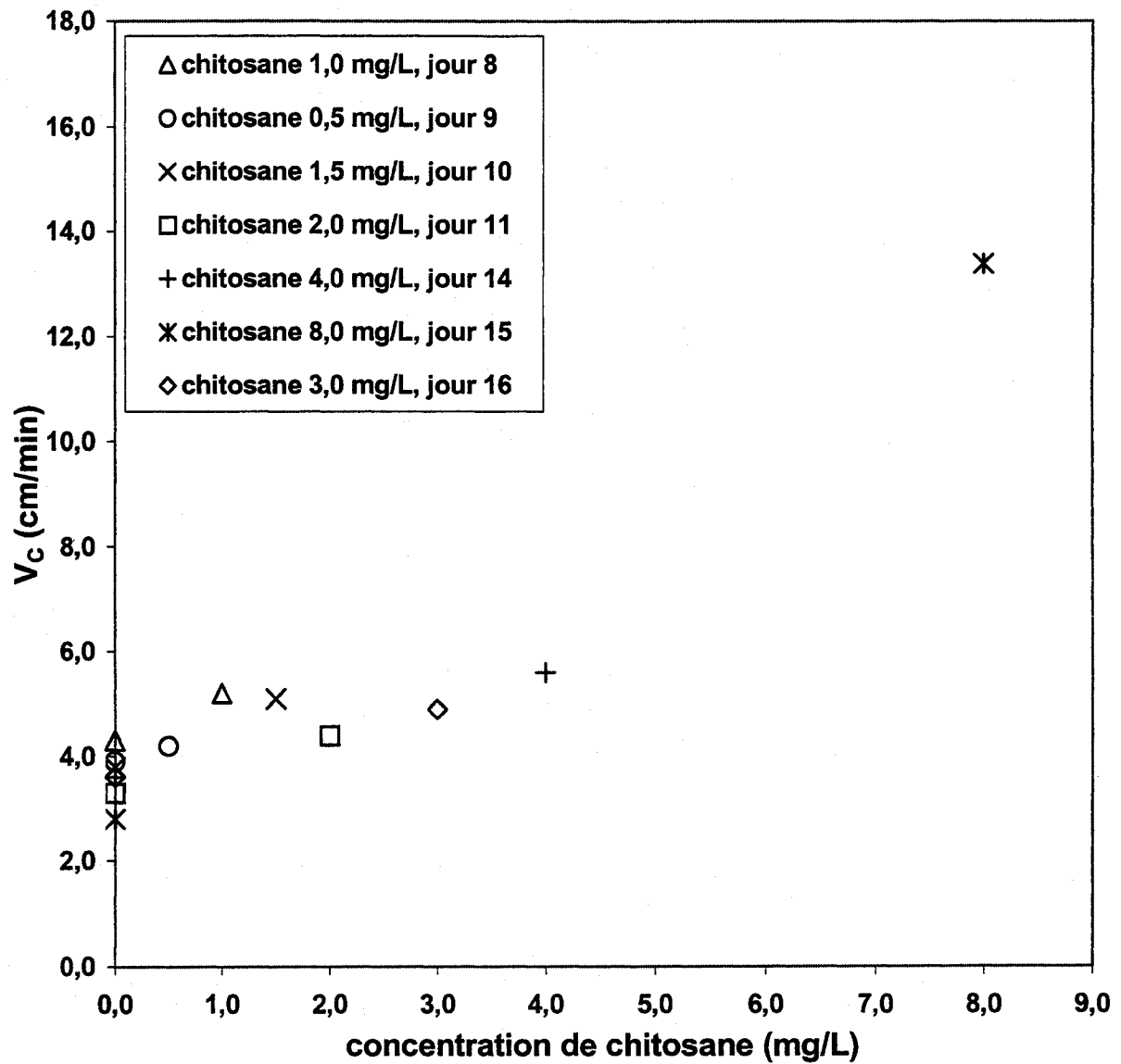


Figure 4.19 : La vitesse de décantation dans le cylindre (V_c) en fonction de la concentration de chitosane lors de la série C.

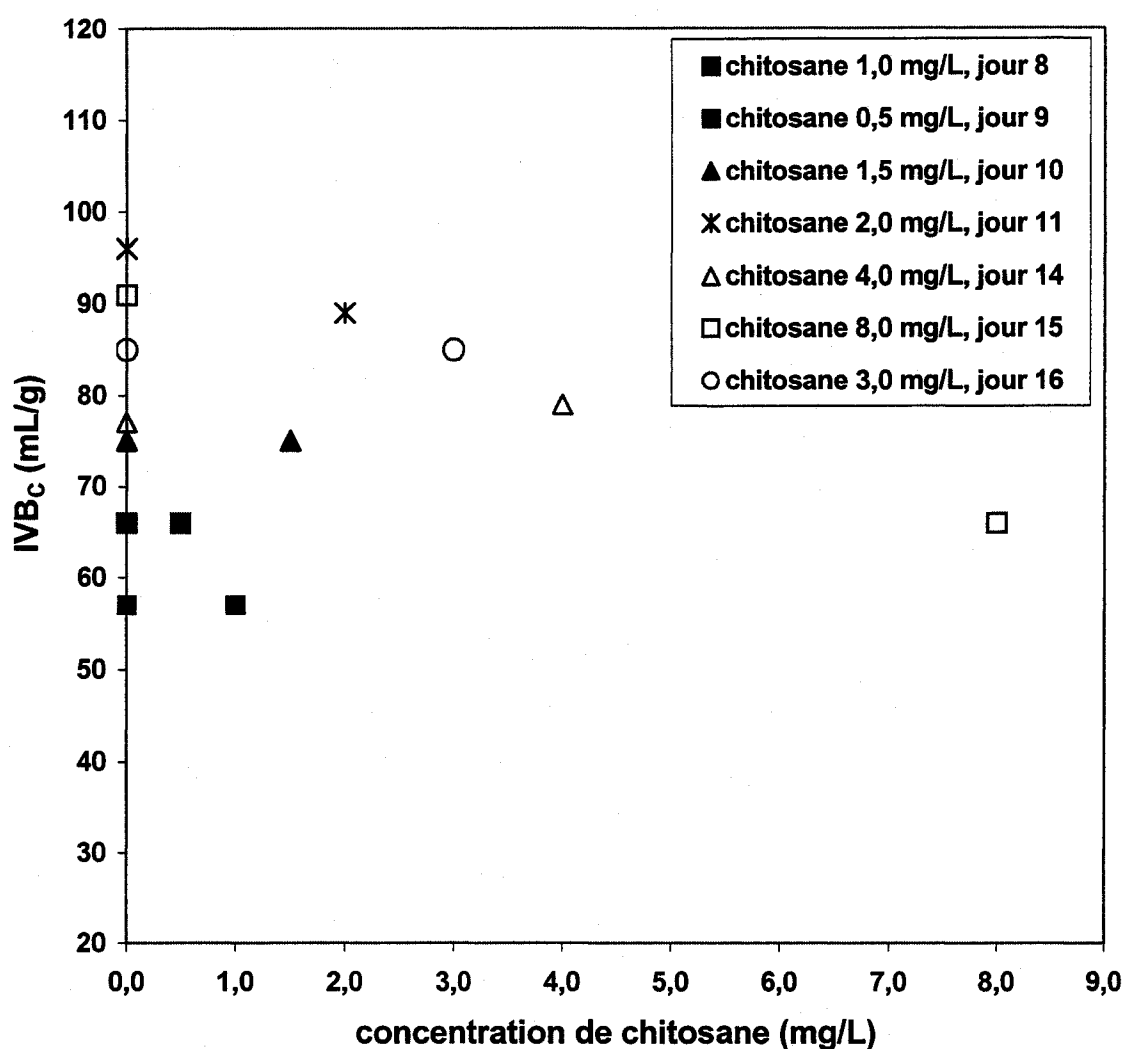


Figure 4.20 : Indice volumique de la boue (IVB_C) en fonction de la concentration de chitosane lors de la série C.

Le rapport entre les paramètres de décantation et la concentration de chitosane n'est pas évident en raison de la variation importante de l'IVB_C et la V_C de la boue sans chitosane au cours de la série. Aux Figures 4.21 et 4.22 on rapporte les changements relatifs des paramètres en fonction de la concentration du polymère.

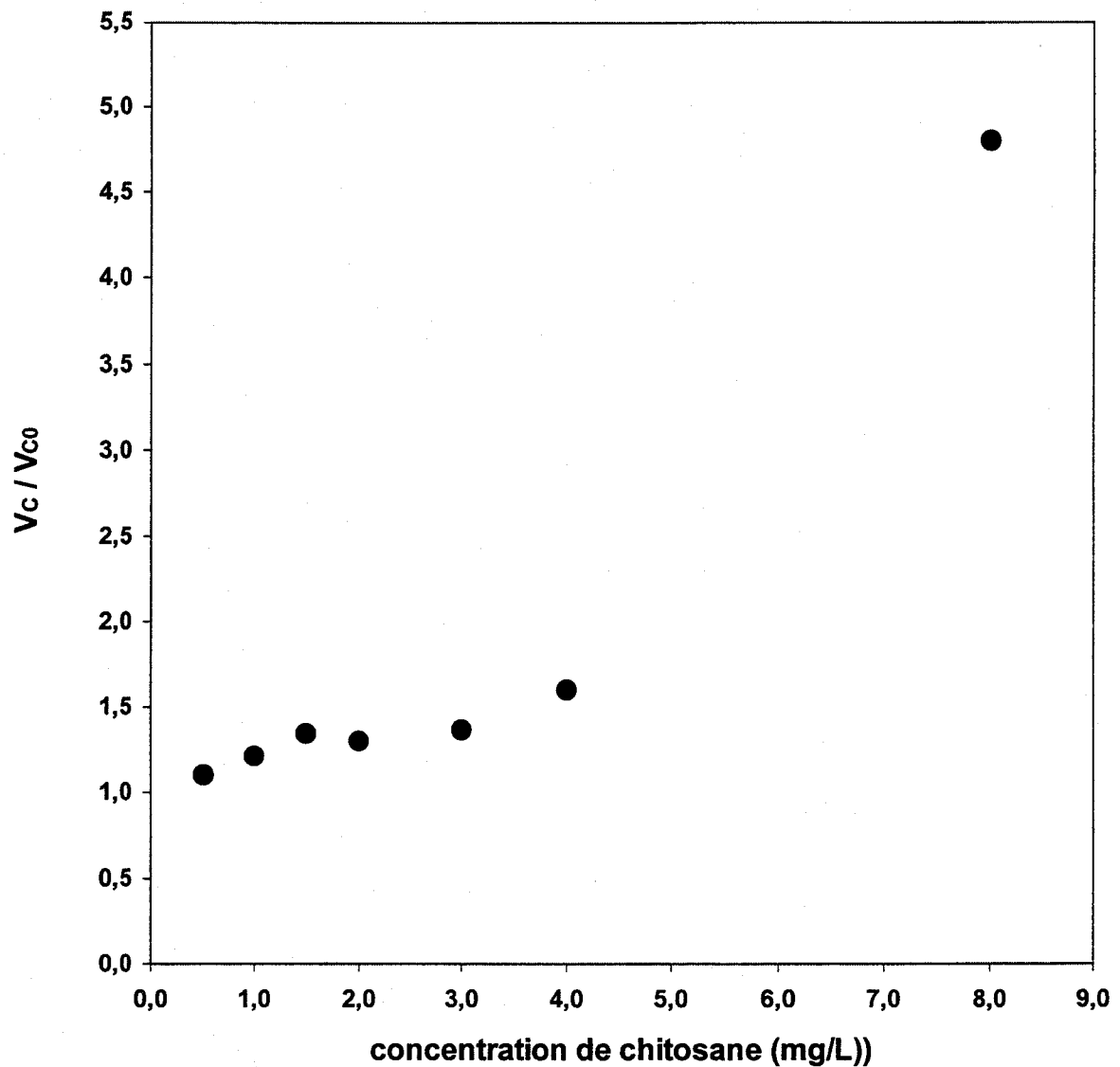


Figure 4.21: Le changement relatif de la vitesse de décantation dans un cylindre en fonction de la concentration de chitosane pour la série C.

Dans la gamme des faibles concentrations de chitosane allant jusqu'à 4 mg/L un effet limitant sur la décantation se produit. En effet, l'augmentation de la concentration de chitosane provoque une très faible augmentation de la vitesse de décantation, soit un très petit changement relatif de ce paramètre. Concernant l'IVB_C, aucun effet positif du chitosane dans cet intervalle de concentrations n'est observé. De plus, un effet négatif se produit pour la concentration de

chitosane de 4 mg/L. Seulement le chitosane à la concentration de 8 mg/L a apporté une considérable amélioration de la vitesse de décantation, soit un changement relatif de la V_C de 4,8 et un rapport relatif de l' IVB_C de 0,69.

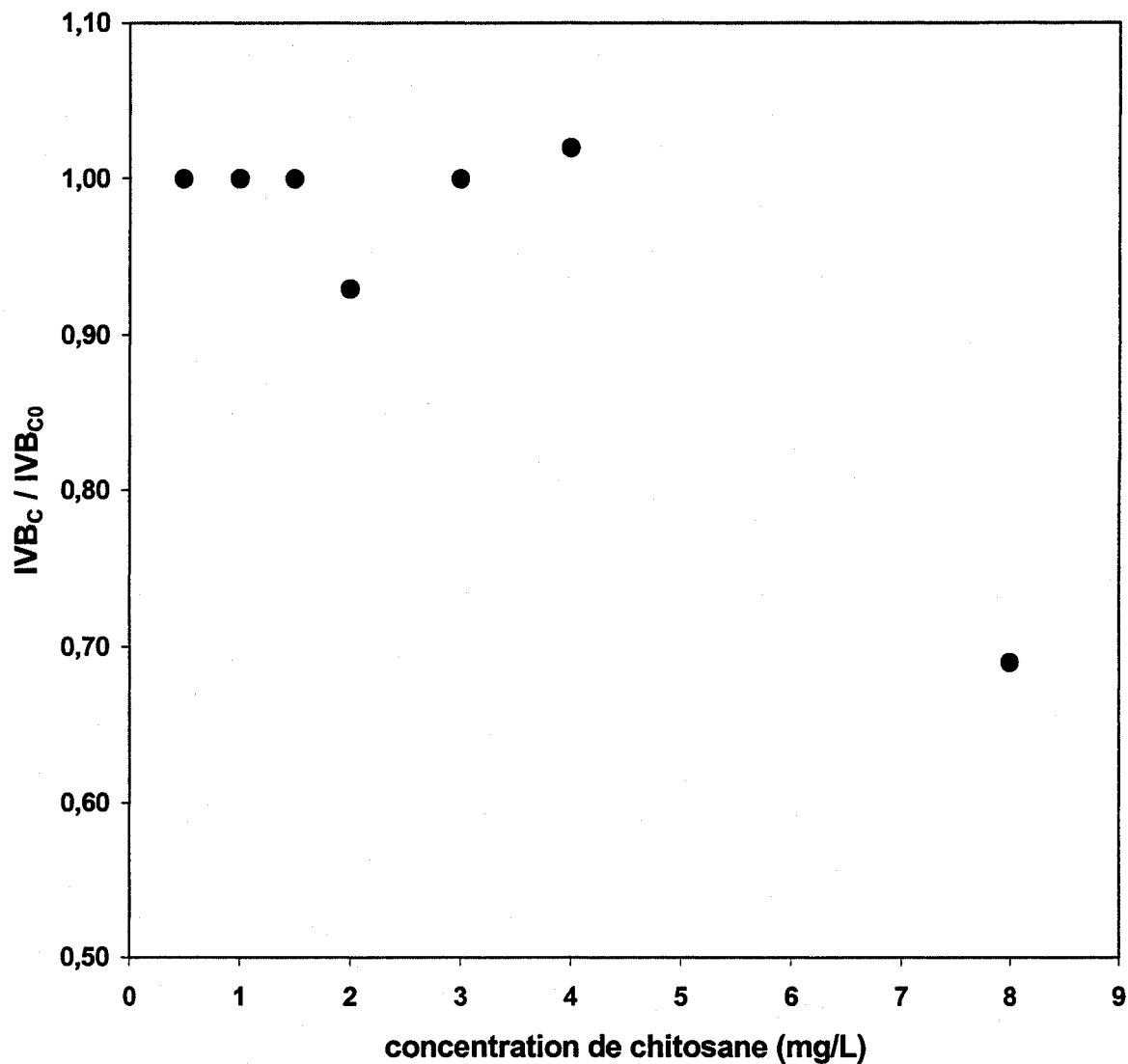


Figure 4.22: Le changement relatif de l'indice volumique de la boue dans un cylindre gradué (IVB_C/IVB_{C0}) en fonction de la concentration de chitosane pour la série C.

d) Série d'expériences D

Pendant la série D on a réalisé des essais de décantation dans des cylindres avec la boue activée complètement soutirée du réacteur au cours d'un matin. La boue a été antérieurement stabilisée. La concentration initiale de la boue est de 3086 ± 56 mg MLSS/L et l'âge de la boue d'environ 7,5 j. La Figure 4.23 (Tableau B.8 correspondant) montre les différents profils de décantation de la boue activée en fonction de faibles concentrations de chitosane allant de 0 à 5 mg/L.

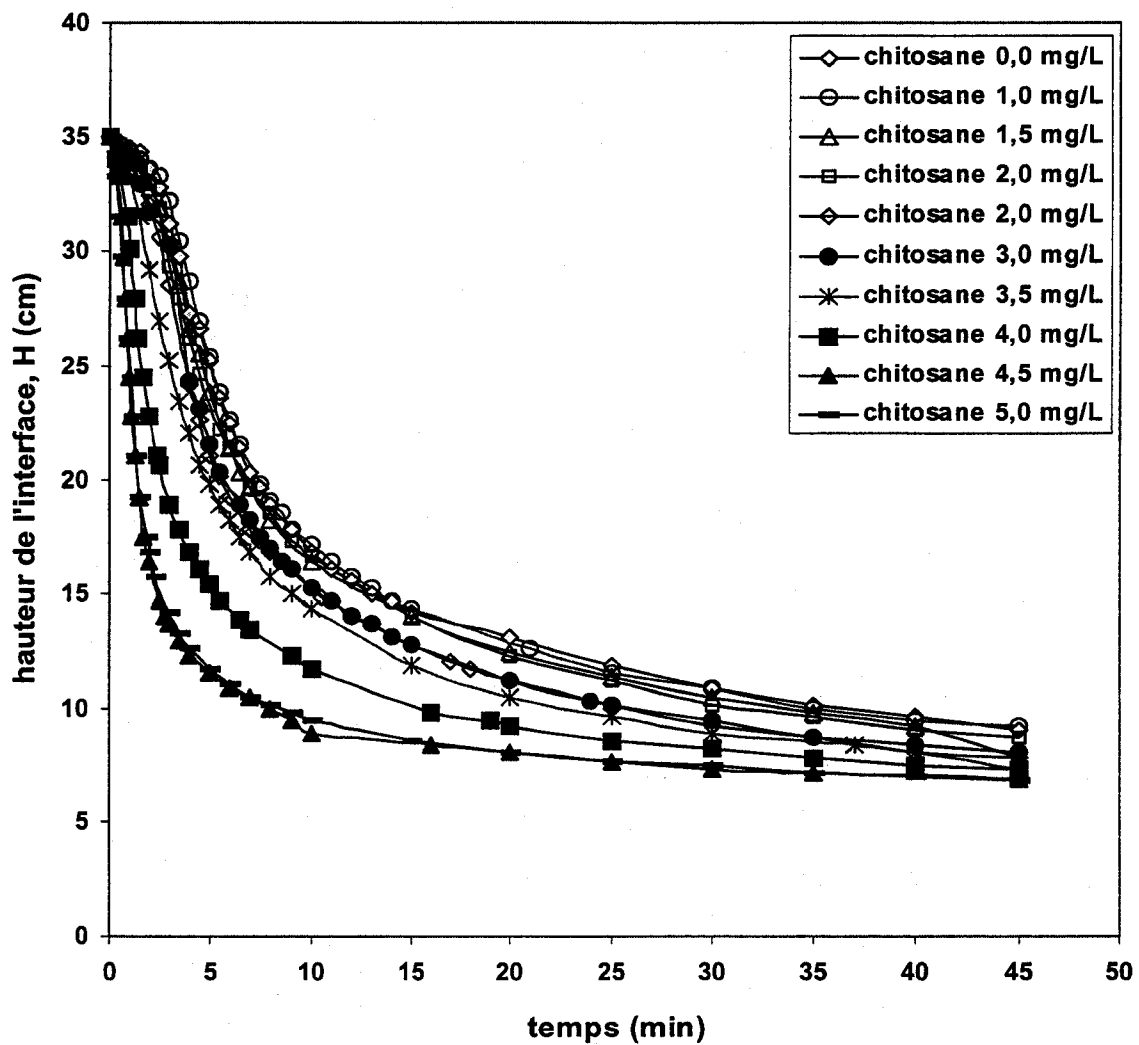


Figure 4.23: Courbes de décantation de la boue activée dans des cylindres gradués en fonction des faibles concentrations de chitosane au jour 10 de la série D ($\theta_C = 7,5$ j).

On remarque que plus la concentration de chitosane augmente plus le profil de décantation descend vers bas. Une influence importante sur la courbe de décantation est obtenue pour les concentrations supérieures à 3,5 mg/L. Pour ces concentrations de chitosane, la phase de la floculation est raccourcie, une amélioration considérable apparaît pour la phase de décantation ralentie et de la compression.

Les valeurs numériques des paramètres de décantation calculés à partir des courbes de décantation sont données au Tableau B.9. La Figure 4.24 montre le rapport entre la V_C et la concentration de chitosane tandis que la Figure 4.25 illustre la variation de l'IVB_C en fonction de cette concentration. À partir de ces résultats nous avons tenté d'établir les relations entre les paramètres de décantation et la concentration du chitosane pour un âge de boue de 7,5 j. Le logiciel Datafit 6.1.10 (OAKDALE ENGINEERING, 1998) a été utilisé pour développer les relations appropriées. La régression nonlinéaire effectuée avec ce logiciel a révélé plusieurs modèles plausibles. Les résultats de cette analyse statistique sont présentés pour référence à l'annexe D.

Les modèles polynomiaux de degré plus élevé que deux possèdent les meilleurs coefficients de détermination multiple, soit un R^2 . Pourtant, en raison de leur caractère nonréel ces modèles ne sont pas considérés comme appropriés. Deux modèles de trois paramètres montrent un coefficient de détermination multiple plus élevé par rapport au reste des modèles étudiés. Le premier modèle a R^2 de 0,871 et prend la forme

$$V_C = a + b \exp(cx) \quad (4.1)$$

où, x = concentration du chitosane (mg/L), et
 a, b, c = paramètres du modèle.

Le deuxième modèle

$$V_C = \exp(a + bx + cx^2) \quad (4.2)$$

possède un R^2 de 0,870.

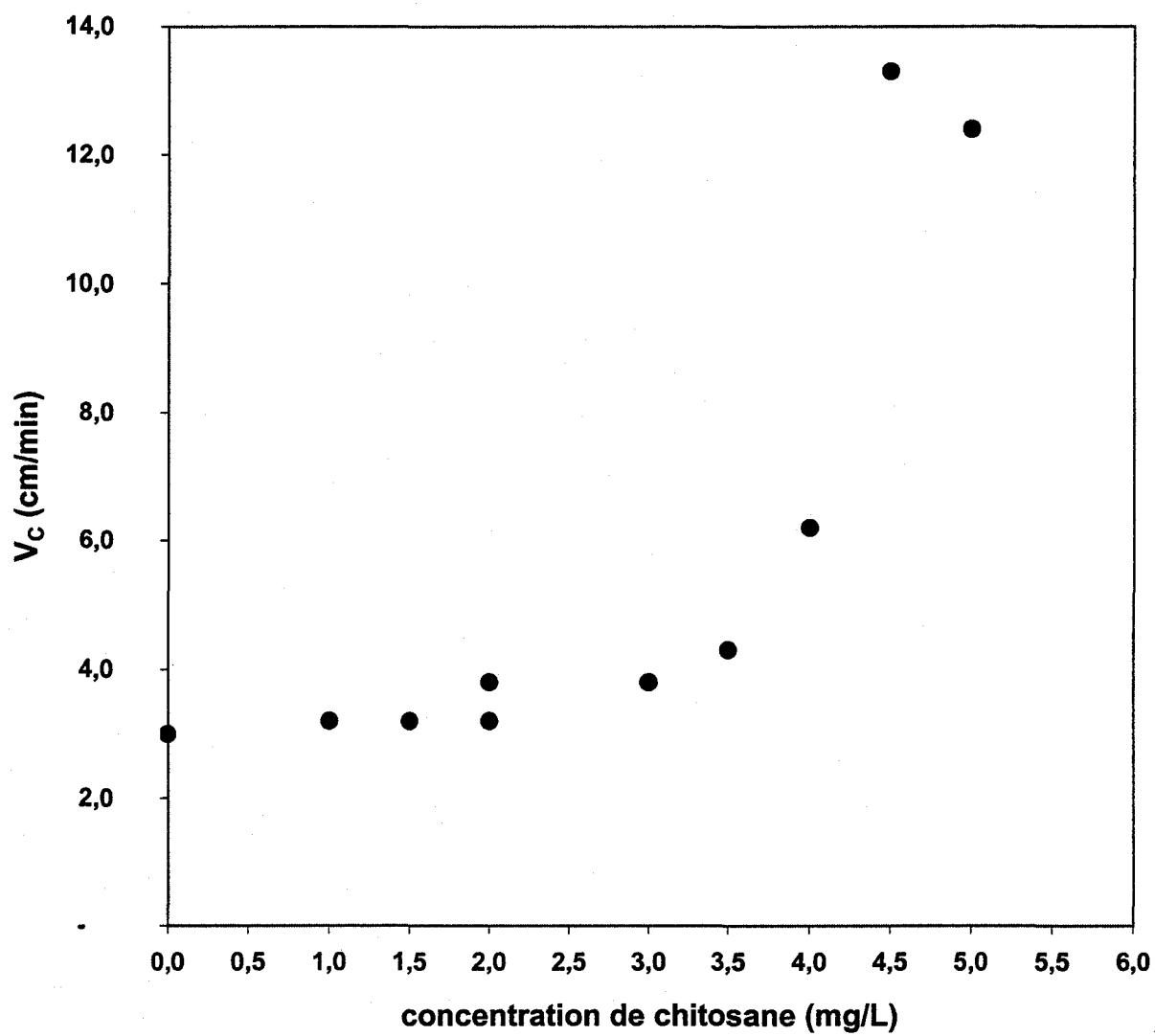


Figure 4.24 : Variation de la vitesse de décantation V_C en fonction de la concentration de chitosane pour la série D ($\theta_C = 7,5$ j).

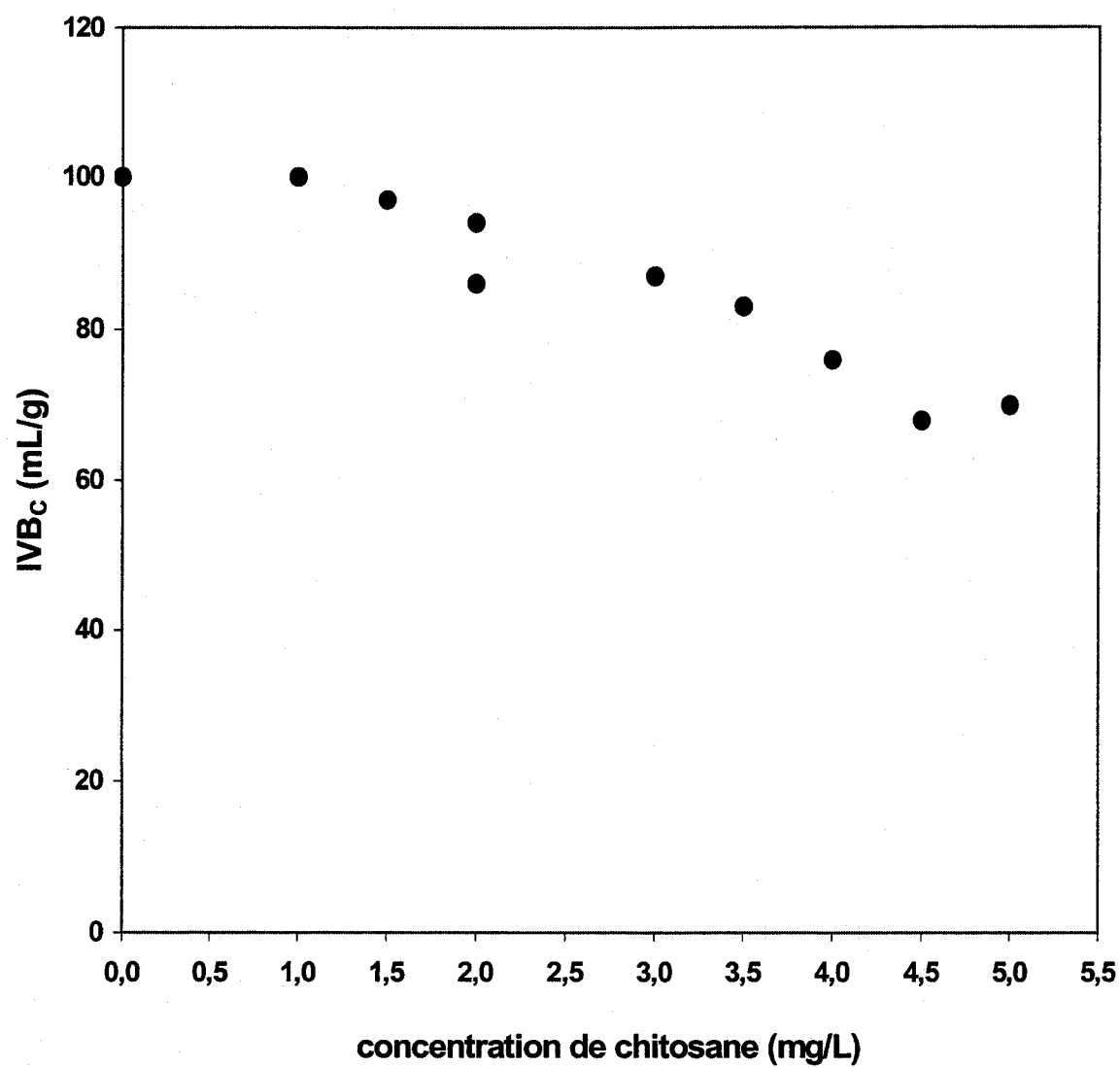


Figure 4.25 : Variation de l'IVB_c en fonction de la concentration de chitosane pendant la série D ($\theta_c = 7,5$ j).

Pourtant, l'analyse statistique de ces modèles (en annexe D) montre la différence entre le R^2 et Ra^2 (coefficient de détermination ajusté qui est de 0,83 pour tous les deux modèles) ce qui indique la possibilité de la présence de paramètres non significatifs dans les modèles considérés. Le Ra^2 permet de tenir compte du nombre de degrés de liberté associé à la somme des carrés résiduelle, nombre qui diminue à mesure qu'une nouvelle variable explicative est introduite dans le modèle. Bien que le R^2 ne décroît jamais avec l'ajout de variables explicatives, Ra^2 peut décroître.

Le test de signification de chacun des paramètres confirme cette indication. L'élimination du composant linéaire dans la deuxième relation ne diminue pas beaucoup le coefficient de détermination ($R^2 = 0,868$) et en même temps augmente le Ra^2 à 0,851. Le modèle obtenu a la forme suivante

$$V_C = \exp(a + b x^2) \quad (4.3)$$

Il nous semble le plus approprié pour décrire la forme de relation entre la vitesse de décantation et la concentration du chitosane allant jusqu'à 5 mg/L. La figure suivante montre l'ajustement du modèle aux données obtenues.

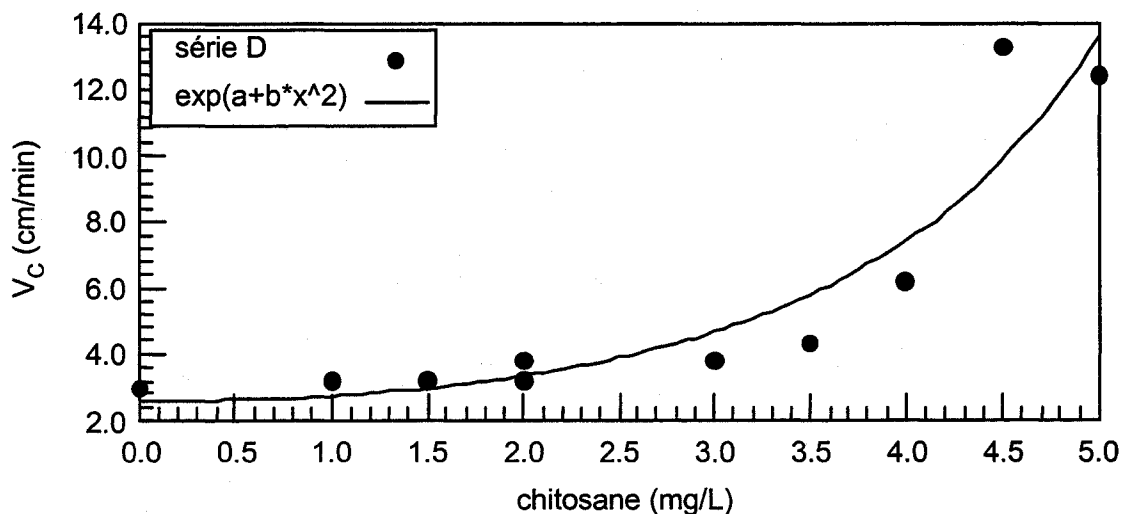


Figure 4.26 : La relation entre la vitesse de décantation V_C et la concentration de chitosane établie par la régression nonlinéaire pour la série D.

Le Tableau 4.4 donne les valeurs numériques des paramètres déterminées par la régression nonlinéaire avec leurs intervalles de confiance de 95% (IC₉₅). On remarque que la probabilité du test t est très petite et que l'intervalle de confiance autour de paramètres n'encadre pas la valeur zéro. Ceci indique l'absence de paramètres nonsignificatifs.

TABLEAU 4.4 : LES RÉSULTATS DE LA RÉGRESSION NONLINÉAIRE DU MODÈLE UTILISÉ POUR DÉCRIRE LA RELATION ENTRE V_C ET LA CONCENTRATION DE CHITOSANE POUR LA SÉRIE D.

| Paramètre | Estimé | Écart- type | t-rapport ^{a)} | Prob(t) ^{b)} | Bornes de l'IC ₉₅ ^{c)} | |
|-----------|--------|----------------|-------------------------|-----------------------|--|--------|
| | | | | | Bas | Haut |
| a | 0,9380 | 0,199 | 4,709 | 0,00152 | 0,4787 | 1,3973 |
| b | 0,0668 | 0,010 | 6,739 | 0,00015 | 0,0439 | 0,0897 |

^{a)} le rapport entre l'estimé et l'écart-type du paramètre estimé, utilisé comme test statistique pour déterminer la signification des paramètres,

^{b)} la probabilité que le test t soit compris entre $-t_{\alpha/2;v}$ et $t_{\alpha/2;v}$ ($t_{\alpha/2;v}$ représente la valeur tabulée de la distribution de Student avec $v = (n-2)$ degrés de liberté),

^{c)} un intervalle de confiance autour du paramètre ayant un niveau de confiance 100(1-0.95)% de contenir la vraie valeur du paramètre.

Les modèles qui peuvent relier l'IVB_C et la concentration de chitosane (Figure 4.25) avec un coefficient de détermination supérieur à 0,90 sont présentés au Tableau 4.5. On remarque qu'un modèle linéaire donne un bon coefficient de détermination (0,910). Cinq modèles de trois paramètres s'ajustent mieux aux données avec un R² de 0,93 et plus. Mais, la présence de paramètres nonsignificatifs est relevée dans chacun de ces modèles par le test de la signification des paramètres.

Par l'élimination du paramètre *b* du quatrième modèle du Tableau 4.5 on obtient le modèle suivant

$$IVB_c = a \exp(-x_2 / d) \quad (4.4)$$

où $d = 2 c^2 = 62,56$, et $a = 99,17$.

TABLEAU 4.5 : MODÈLES APPROPRIÉS POUR ÉTABLIR LA RELATION ENTRE L'IVB_C ET LA CONCENTRATION DE CHITOSANE ALLANT JUSQU'À 5 MG/L.

| Modèle | Paramètres | | | R ² | Ra ² |
|-----------------------------------|------------|----------|---------|----------------|-----------------|
| | a | b | c | | |
| $IVB_C = 1 / (a + b*x + c*x^2)$ | 0,0099 | 8,4998 | 0,0001 | 0,936 | 0,917 |
| $IVB_C = a / (1 + b*x + c*x^2)$ | 100,63 | 0,0086 | 0,0177 | 0,936 | 0,917 |
| $IVB_C = \exp(a + b*x + c*x^2)$ | 4,6146 | -0,01994 | -0,0122 | 0,934 | 0,916 |
| $IVB_C = a*\exp(-(x - b)^2/2c^2)$ | 101,77 | -0,81546 | 6,3949 | 0,934 | 0,916 |
| $IVB_C = a + b*\exp(c*x)$ | 121,93 | 20,054 | 0,2013 | 0,930 | 0,910 |
| $IVB_C = a*x + b$ | -6,999 | 104,64 | - | 0,910 | 0,898 |

Le coefficient de détermination multiple de ce modèle est de 0,93, ce qui indique un assez bon ajustement de ce modèle aux données présentées. Ceci est illustré à la Figure 4.27.

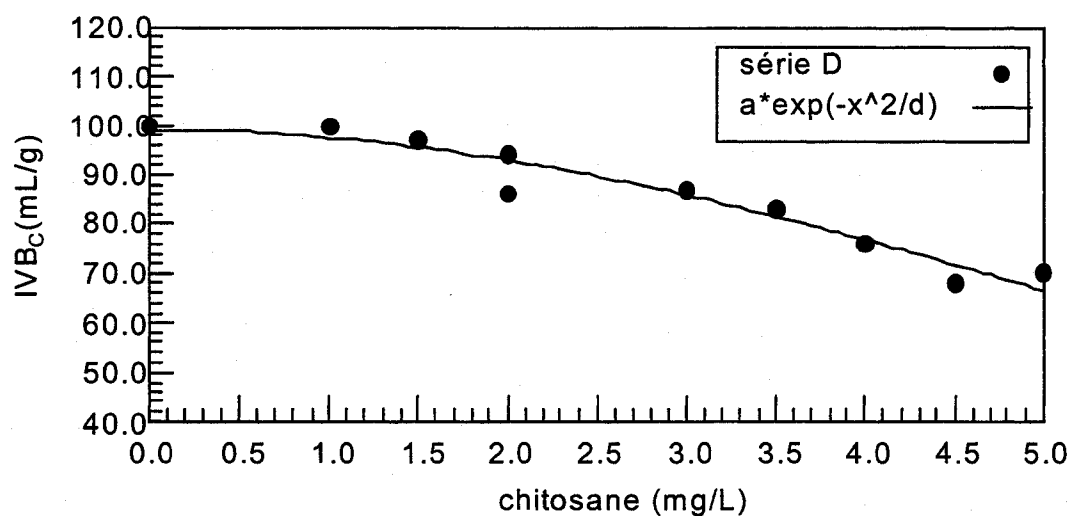


Figure 4.27 : Relation entre l'IVB_C et la concentration de chitosane établie par la régression nonlinéaire pour la série D.

L'élimination des composants nonsignificatifs de tous les autres modèles affecte l'ajustement des modèles aux données et diminue le R^2 . Ainsi, il semble que le modèle précédent à deux paramètres est le meilleur parmi les modèles étudiés pour décrire la relation entre l'IVB_C et la concentration du chitosane.

Les valeurs numériques des paramètres et l'intervalle de confiance de 95% pour ce modèle sont données au Tableau 4.6. Les très petites valeurs de la probabilité du test t pour les paramètres impliqués dans le modèle sont des indices de la signification de ceux dernières. Aussi, on remarque que l'intervalle de confiance autour des paramètres ne contenait pas la valeur zéro.

TABLEAU 4.6 : LES RÉSULTATS DE LA REGRESSION NONLINÉAIRE DU MODÈLE UTILISÉ POUR DÉCRIRE LA RELATION ENTRE L'IVB_C ET LA CONCENTRATION DE CHITOSANE POUR LA SÉRIE D.

| Paramètre | Estimé | Écart- type | t-rapport | Prob(t) | Bornes de l'IC ₉₅ | |
|-----------|---------|----------------|-----------|---------|------------------------------|---------|
| | | | | | Bas | Haut |
| a | 99,1696 | 1,6939 | 58,5440 | 0,0 | 95,263 | 103,076 |
| b | 62,5602 | 6,3633 | 9,8314 | 0,00001 | 47,887 | 77,234 |

e) Sommaire des séries B, C et D

Un résumé des effets du chitosane sur la décantation de la boue activée en fonction des différentes concentrations de chitosane dans des cylindres gradués est présenté aux Figures 4.28 et 4.29. Les effets sont interprétés en terme de changements relatifs de la V_C et d'IVB_C et ils renferment les résultats obtenus pendant les séries B, C et D. Les valeurs numériques correspondantes sont présentées au Tableau B.10.

La Figure 4.28 montre la présence d'une concentration critique d'environ 4 mg/L au-dessous laquelle les effets positifs du chitosane sur la V_C sont très faibles. Aux concentrations supérieures à celle critique le chitosane possède un grand potentiel à améliorer la décantation au niveau de la vitesse de décantation. De plus on constate un plateau d'environ 10 mg/L au-dessus duquel les améliorations apportées à la vitesse de décantation avec l'augmentation de la concentration du polymère sont minimales. Un phénomène semblable sera noté ultérieurement avec la boue en état de gonflement (voir la sous-section f).

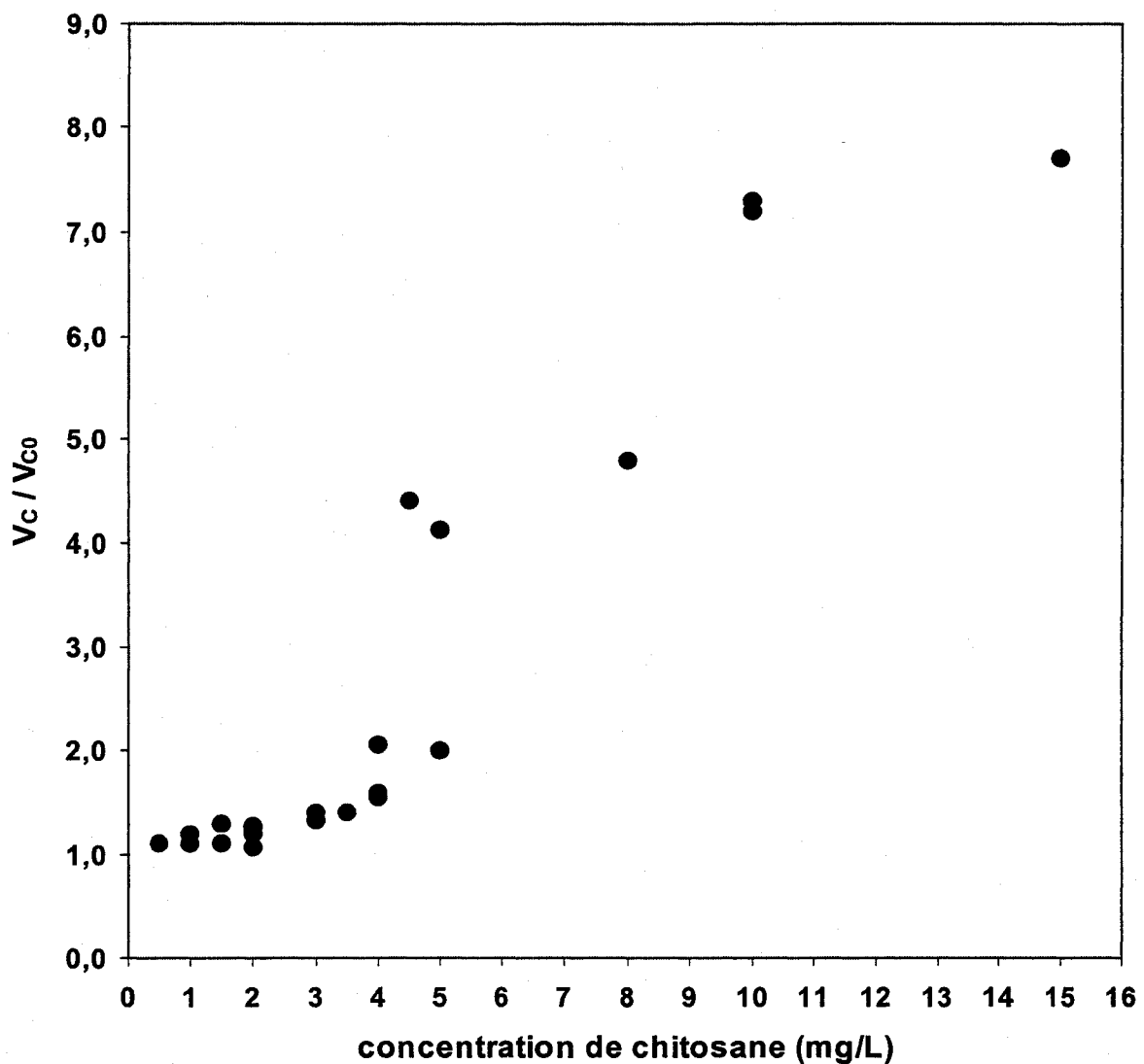


Figure 4.28 : Effet du chitosane sur la décantation de la boue activée exprimé en terme de changement relatif de la V_C pour les séries B, C et D.

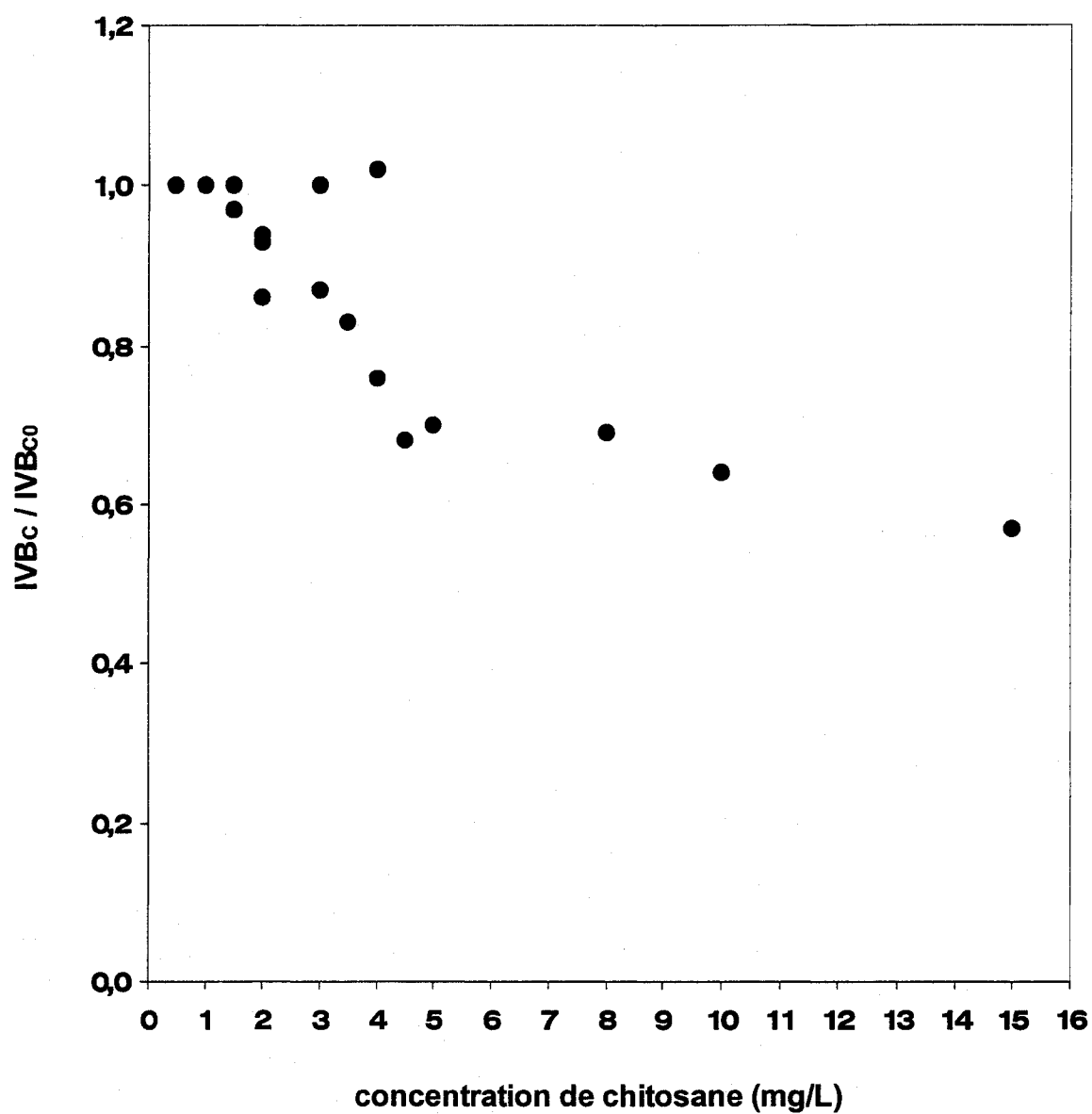


Figure 4.29 : Effet du chitosane sur la décantation de la boue activée exprimé en terme de changement relatif d'IVB_C pour les séries B, C et D.

La régression nonlinéaire a relevé deux modèles de trois paramètres qui se sont montrés comme favorables à décrire la relation entre le changement relatif de la vitesse de décantation et la concentration de chitosane. Les résultats de l'analyse statistique pour ces deux modèles sont présentés à l'annexe D. Ces deux modèles possèdent les mêmes valeurs du R^2 de 0,922 et du Ra^2 de 0,912. Sur la Figure 4.30 on peut remarquer que leurs courbes d'ajustement sont superposées.

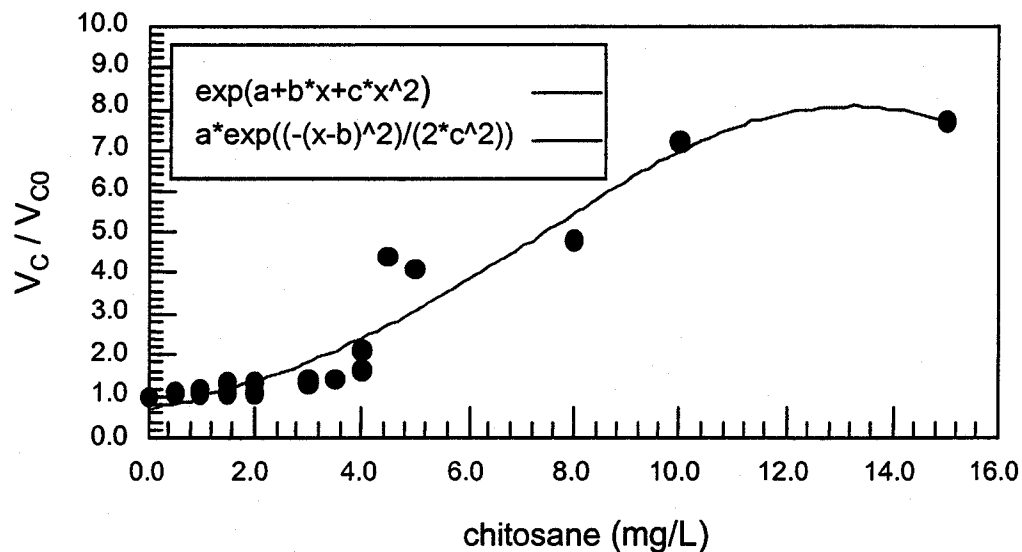


Figure 4.30 : Comparaison de deux modèles pour étudier la relation entre le changement relatif de la vitesse de décantation et la concentration de chitosane.

D'un autre côté, on n'a pas réussi de trouver une relation forte entre le changement relatif de l'IVB et la concentration de chitosane compte tenu de la dispersion des résultats obtenus lors de nos expériences. Ainsi, les modèles étudiés ont tous un coefficient de détermination à 0,80. Pourtant, les trois modèles montrent un meilleur ajustement aux résultats et les coefficients de détermination parmi les plus élevés. Les valeurs de leurs paramètres et du coefficient de détermination sont données au Tableau 4.7.

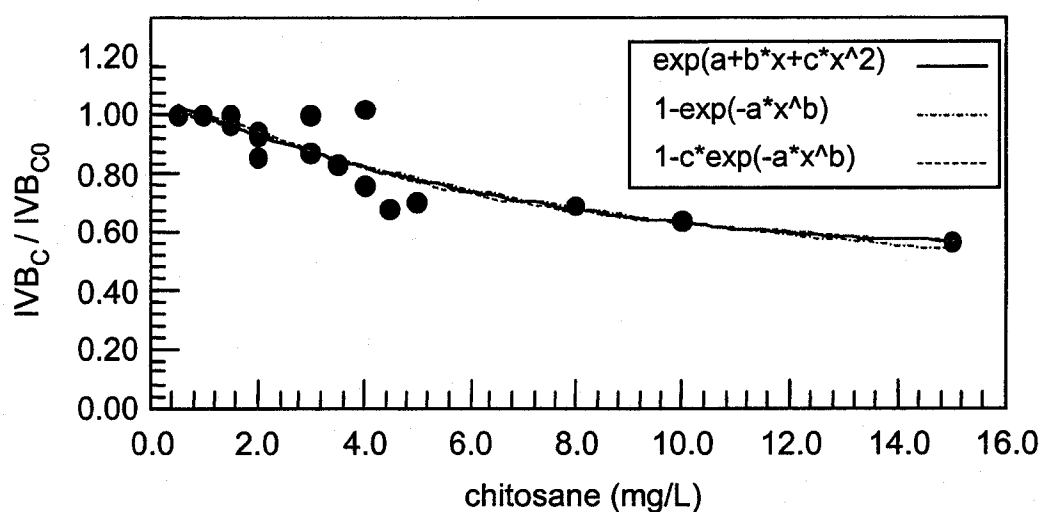


Figure 4.31 : Comparaison des modèles plausibles pour décrire la relation entre le changement relatif de l'IVB_C et la concentration de chitosane.

TABEAU 4.7 : LES MODÈLES APPROPRIÉS POUR ÉTABLIR LA RELATION ENTRE LE RAPPORT IVB_C/IVB_{C0} ET LA CONCENTRATION DE CHITOSANE.

| Modèle | Paramètres | | | R ² | Ra ² |
|--|------------|--------|-------|----------------|-----------------|
| | a | b | c | | |
| IVB _C = 1 - c exp(-a x ^b) | 4,866 | -1,028 | 0,581 | 0,774 | 0,743 |
| IVB _C = exp (a + b x + c x ²) | 0,071 | -0,075 | 0,002 | 0,768 | 0,737 |
| IVB _C = 1-exp(-a x ^b) | 4,185 | -0,621 | - | 0,766 | 0,751 |

Le troisième modèle de deux paramètres est le seul qui ne possède pas de composants nonsignificatifs. Ainsi, la probabilité du test t pour chacun des paramètres est très petit et les intervalles autour des paramètres ne contiennent pas la valeur zéro.

f) La boue en état de gonflement

Après seize jours de fonctionnement du réacteur lors de la série C on a constaté la détérioration des propriétés de décantation de la boue activée en raison du gonflement, ce qui s'est manifesté par un interface liquide/boue beaucoup plus élevé dans le RBS. Sur la Figure 4.32 on remarque que le profil de décantation de la boue activée a monté et que le chitosane en concentration de 4 mg/L exerce un effet positif sur la décantation beaucoup plus prononcé que celui enregistré avant

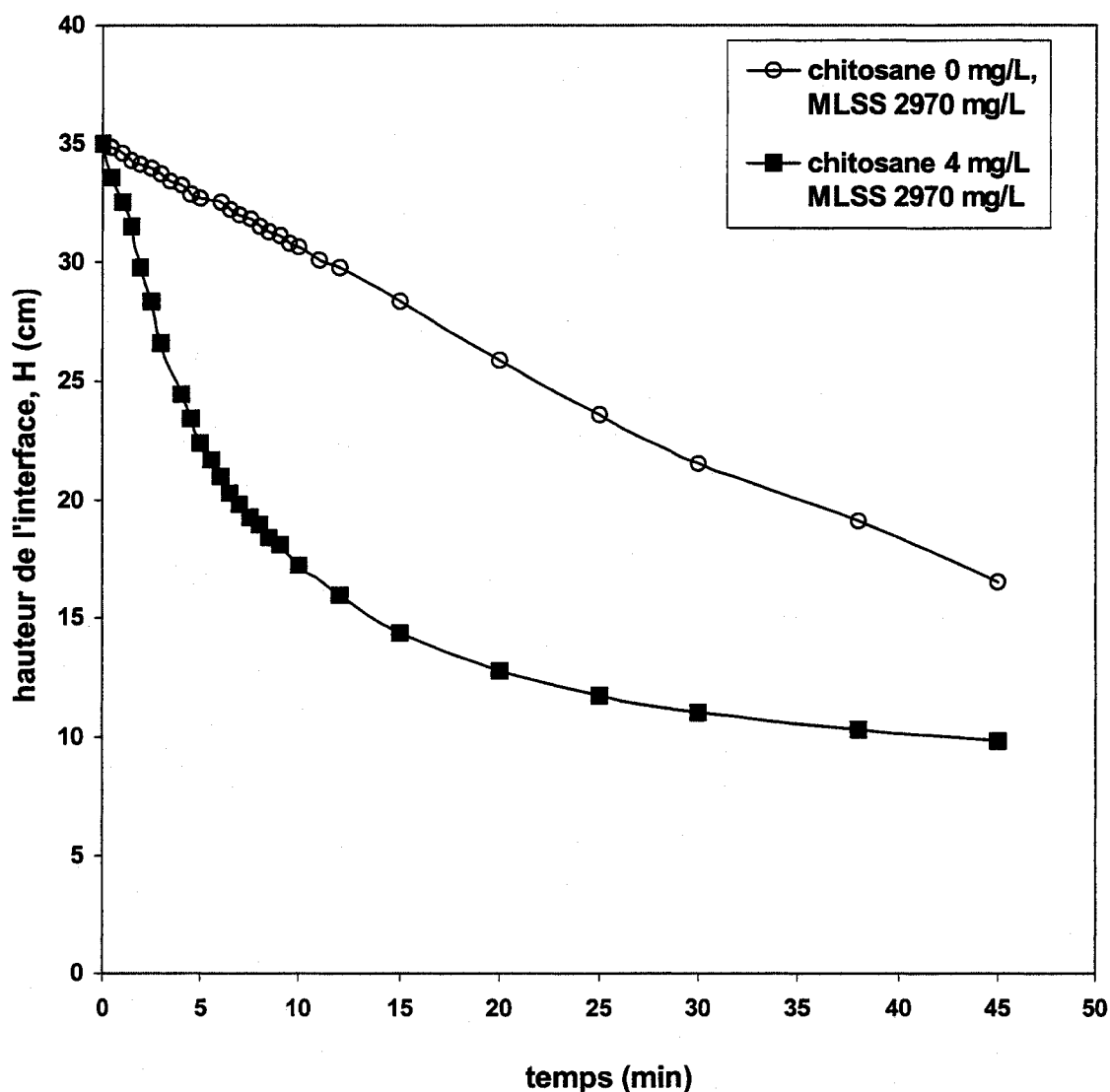


Figure 4.32: L'effet du chitosane au dosage de 4 mg/L sur la décantation de la boue activée en état de gonflement dans un cylindre gradué au jour 16 de la série C.

l'apparition du gonflement de la boue (Figure 4.16). La boue activée s'est trouvée aussi en état de gonflement après dix-huit jours de fonctionnement du RBS lors de la dernière série de notre étude.

L'examen au microscope optique de la boue a montré un nombre élevé d'organismes filamenteux (Figure 4.33). Basé sur l'examen des propriétés morphologiques les organismes observés ressemblaient au champignon filamenteux *Geotrichum candidum* et à la bactérie filamenteuse *Sphareotilus natans*. En même temps on a observé des colonies abondantes de zooglée ramifiée qui sécrètent une large quantité de biopolymères ce qui rend difficile de comprendre la raison principale du gonflement de la boue. La présence importante de ces biopolymères est confirmée par la microscopie électronique à balayage. Sur la Figure 4.34 on remarque l'existence d'une couche importante de polymères enrobant les bactéries. ERIKSSON ET HÄRDIN (1987) ont aussi détecté la présence simultanée d'une grande quantité des biopolymères et d'organismes filamenteux dans la boue activée en état de gonflement.



Figure 4.33 : Présence d'organismes filamenteux dans la boue activée en état de gonflement lors de la série E (grossissement x100).



Figure 4.34 : Présence de biopolymères extracellulaires sur la surface bactérienne de la boue activée en état de gonflement lors de la série E (microscopie électronique à balayage, grossissement x20000).

Il faut noter que RBS a été opéré avec la période de remplissage aéré. BORGATTI (1981) a trouvé que l'opération du réacteur avec la période de remplissage aéré favorise la croissance des organismes filamenteux, ce qui est ensuite suivi par l'apparition de gonflement de la boue et la détérioration de la qualité d'effluent. D'autre part, l'eau usée était facilement biodégradable à base de peptones, de sucrose et des sels minéraux et comme telle elle pouvait favoriser la croissance de ces organismes.

L'efficacité du chitosane en fonction des différents dosages sur la décantation de la boue activée en état de gonflement est démontrée par les résultats obtenus lors de la série C (Figure 4.35) et de la série E (Figure 4.36). Les valeurs numériques correspondantes sont données aux Tableaux B.11 et B.12 en annexe. La concentration du chitosane ajouté dans des cylindres a varié de 0 à 25 mg/L alors que la concentration de la MLSS a été de 1165 ± 68 mg/L pour la série C et de 2650 ± 46 mg/L pour la série E.

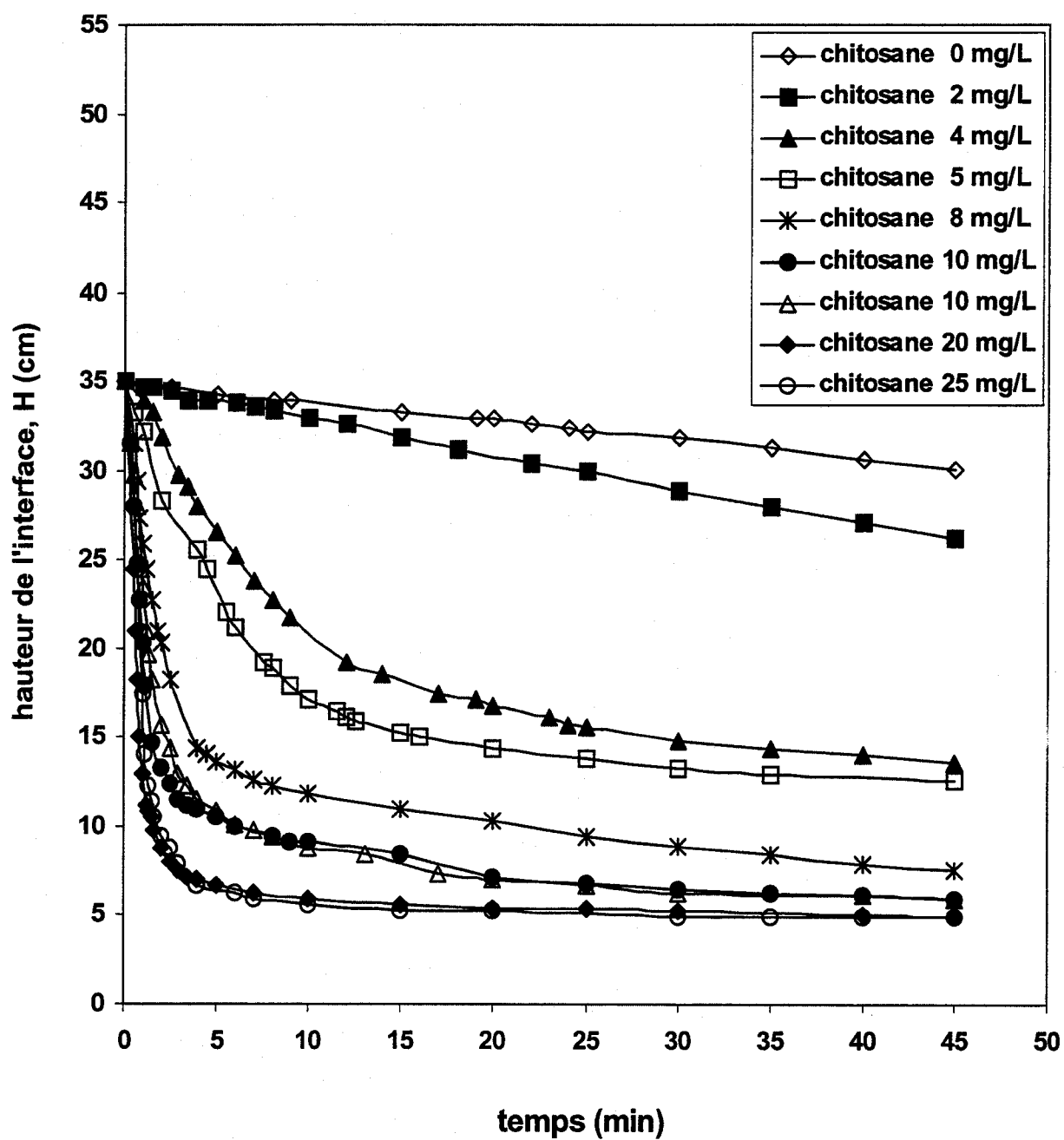


Figure 4.35: Courbes de décantation de la boue activée en état de gonflement dans des cylindres gradués en fonction de différentes concentrations de chitosane au jour 22 de la série C.

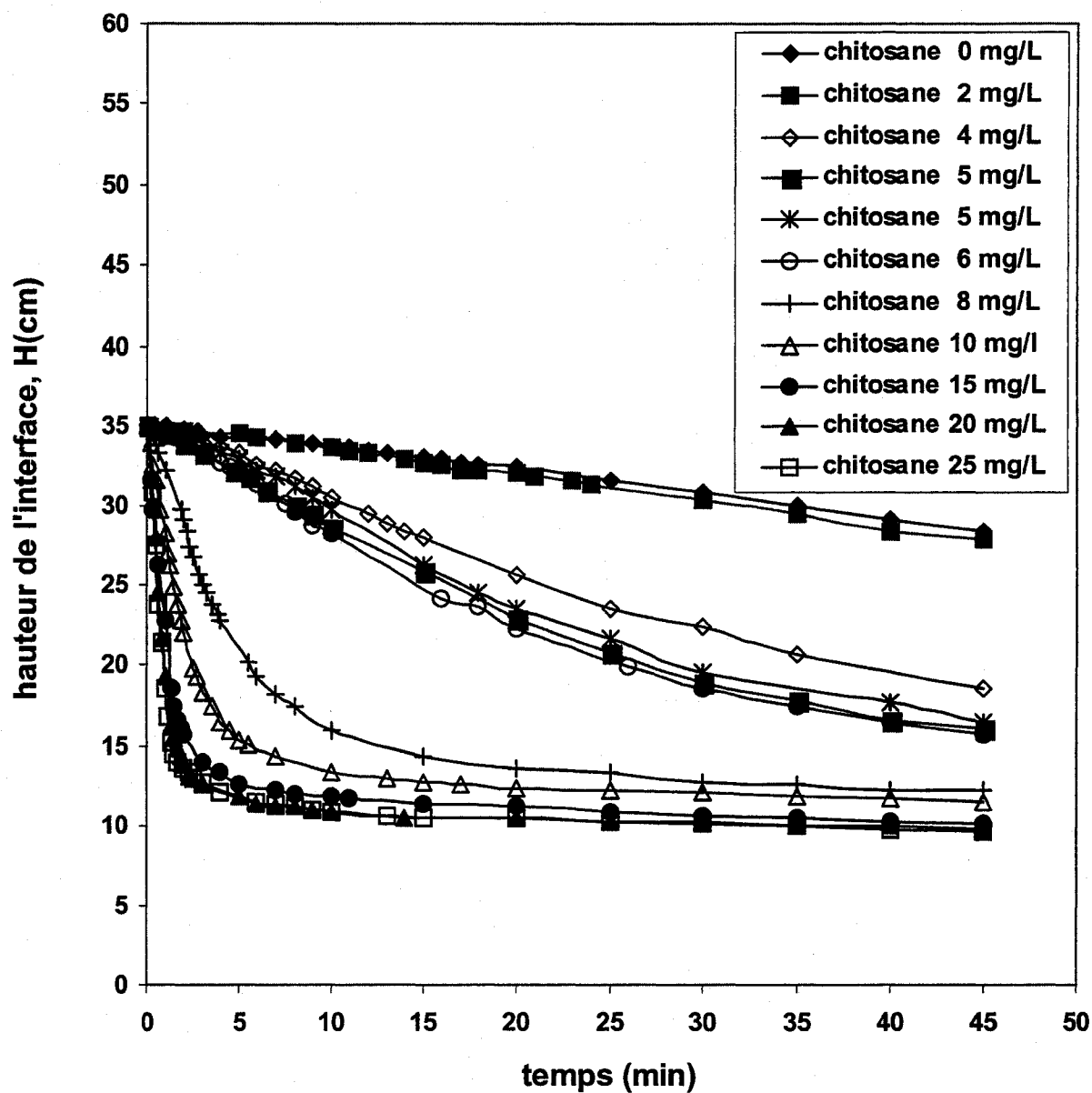


Figure 4.36: Courbes de décantation de la boue activée en état de gonflement dans des cylindres gradués en fonction de différentes concentrations de chitosane au jour 20 de la série E.

Il faut mentionner que, pendant les essais réalisés avec la boue en état de gonflement, on a eu de la difficulté à visualiser l'interface boue/liquide, particulièrement pendant la série C quand on a eu une concentration de la MLSS assez faible. De plus, on a observé la flottation de gros floccs à la surface du liquide au cours de la décantation de la boue activée dans des cylindres.

Pour une concentration de chitosane de 10 mg/L pour la série C et de 5 mg/L pour la série E on a réalisé la répétition des essais de décantation de la boue dans deux cylindres afin de vérifier la reproductibilité des essais. Sur les Figures 4.35 et 4.36 on constate que deux courbes de décantation correspondantes à cette concentration particulière de chaque série sont semblables et qu'on a une reproductibilité satisfaisante des essais.

La Figure 4.35 montre que les profils de décantation baissent progressivement avec l'augmentation de la concentration de chitosane. Le chitosane au dosage de 2 mg/L n'a pas d'effets appréciables sur la décantation de la boue. Pour la concentration de 4 mg/L l'amélioration de la décantation est évidente. Une bonne décantation est obtenue au dosage de 10 mg/L, alors que pour les concentrations supérieures les courbes se sont approchées. La boue en présence du chitosane à 20 et 25 mg/L a décantée très rapidement à l'intérieur des premières cinq minutes alors qu'ensuite aucune compression de la couche de boue décantée n'ait pas été notée.

Lors de la série E (Figure 4.36), en augmentant la concentration de chitosane les courbes de décantation baissent plus lentement par rapport à la série C. Ce comportement se comprend eut égard à la concentration initiale de la MLSS plus élevée que lors de la série C. La boue activée en présence de chitosane en concentration supérieure à 8 mg/L après 10 minutes de décantation a décanté à une hauteur à l'intérieur de 15 cm et par la suite ne montre plus aucune compression supplémentaire. La couche de boue à la fin de décantation occupe un volume doublé par rapport à la série C en raison de la concentration initiale de boue plus élevée.

Les résultats obtenus concernant la décantation de la boue activée en état de gonflement sont présentés au niveau de la variation d'IVB_C et de la V_C en fonction de la concentration du chitosane sur les Figures 4.37 et 4.38 respectivement. Les données numériques se trouvent en annexe au Tableau B.13.

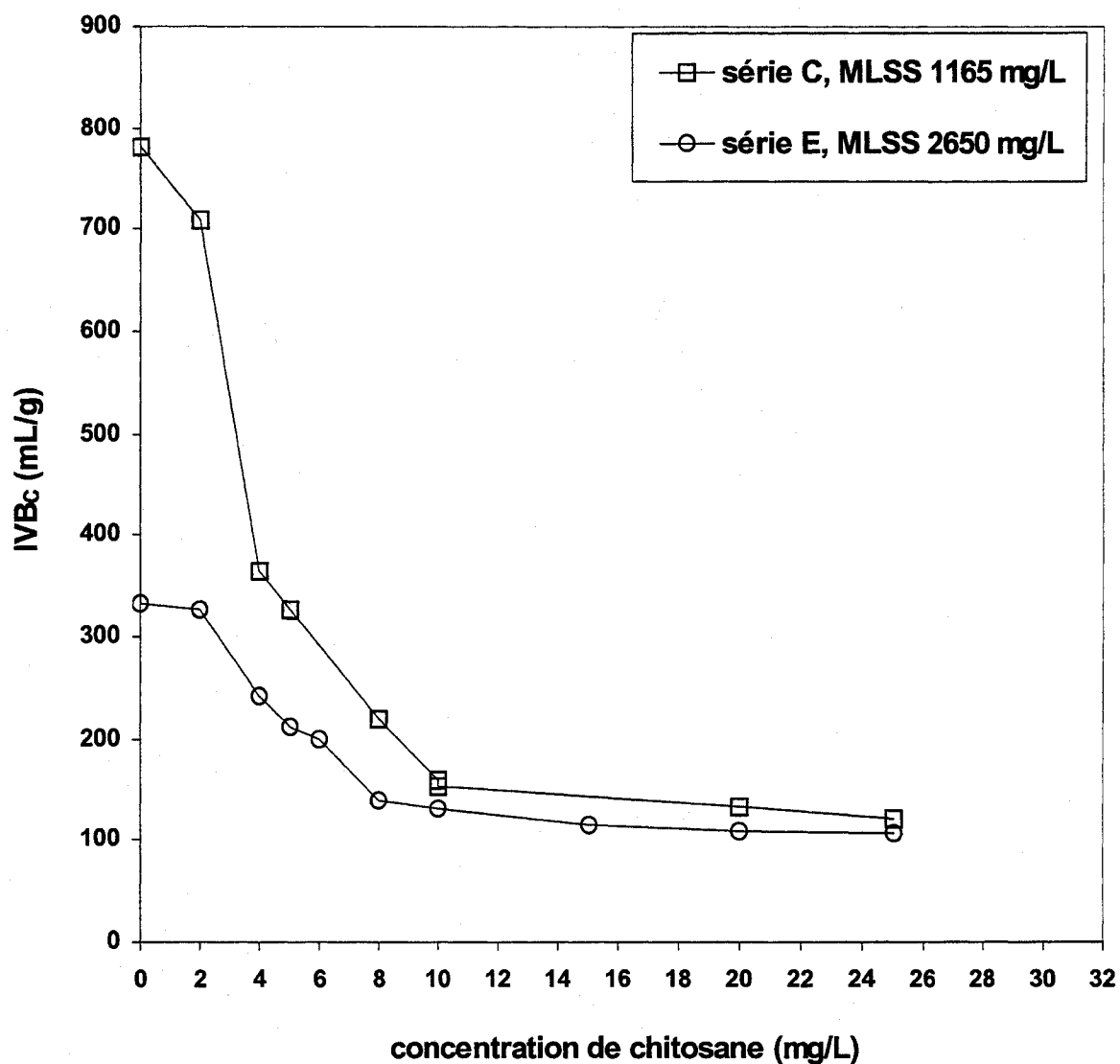


Figure 4.37: L'indice volumique de la boue dans un cylindre gradué (IVB_C) en fonction de la concentration de chitosane pour la boue en état de gonflement.

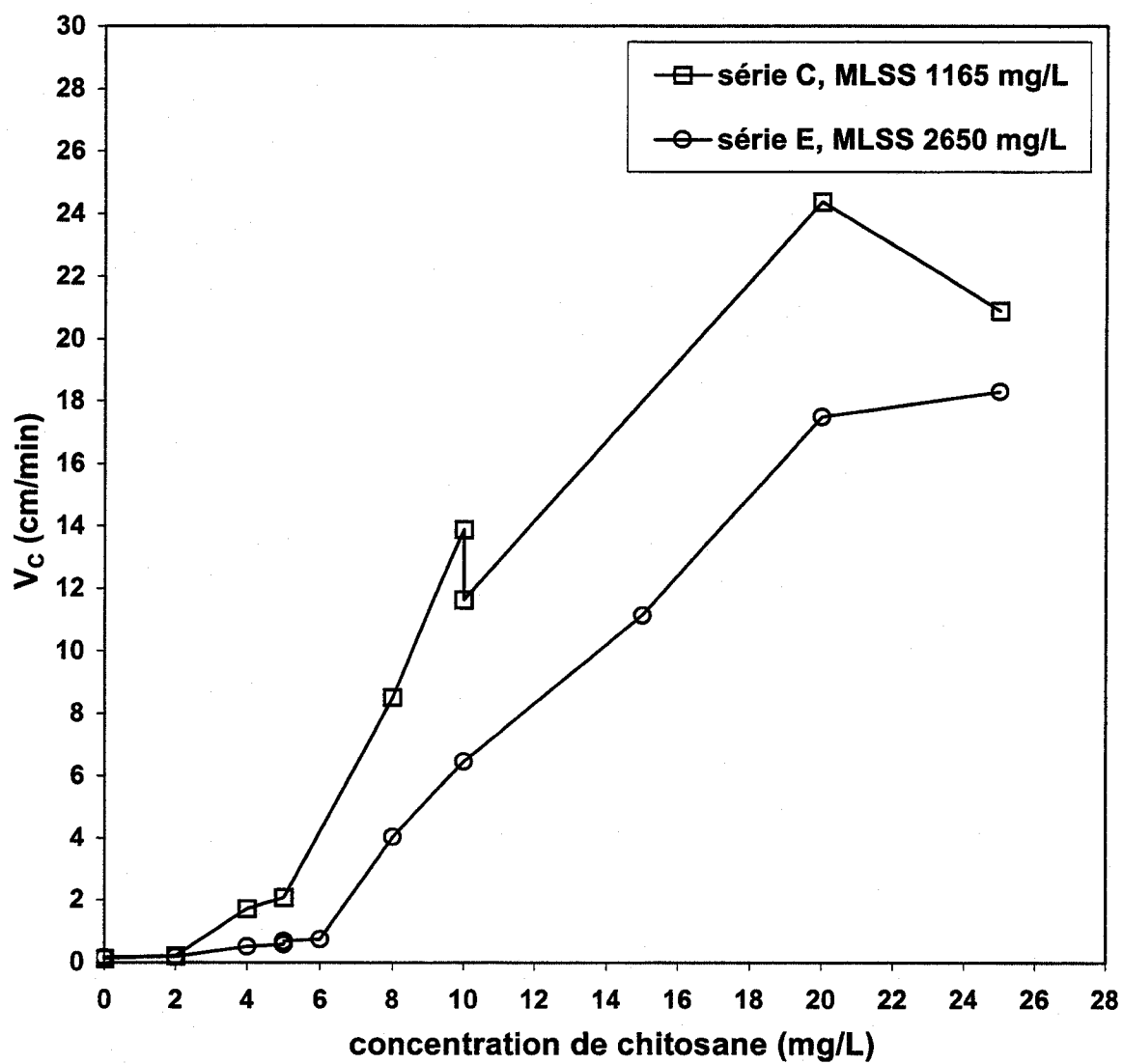


Figure 4.38: Vitesse de décantation en zone dans un cylindre gradué (V_c) en fonction de la concentration de chitosane pour la boue en état de gonflement.

Si on regarde le changement de l'IVB_C en fonction du dosage de chitosane on constate que la concentration de 2 mg/L apporte une très faible réduction de l'IVB_C. Par la suite l'augmentation de la concentration du chitosane entraîne une diminution importante de l'IVB_C. Ainsi pour la concentration de 10 mg/L l'IVB_C est tombé de 781 mL/g à 154 mL/g pendant la série C (une réduction de 80%). Lors de la série E, où la concentration initiale de la MLSS était plus élevée, l'IVB_C décroît de 74%. Donc, l'effet quantitatif du polymère sur la réduction d'IVB_C semble dépendre de la concentration initiale de la MLSS et d'IVB_C initial. Les concentrations supérieures à 10 mg/L pour la série C et 8 mg/L pour la série E n'affectent plus pratiquement la valeur de l'IVB_C (Figure 4.37).

Il n'est pas surprenant de trouver une concentration du flocculant au-dessus de laquelle l'amélioration significative de l'IVB_C n'est plus observée. La concentration élevée du polymère peut résulter en la formation des larges floccs qui ont une tendance à conserver un volume considérable d'eau sous l'interface solide/liquide, ce qui résulte en une boue moins concentrée.

En ce qui concerne la variation de la V_C on remarque sur la Figure 4.38 qu'elle n'a pas beaucoup changé pour les faibles concentrations de chitosane allant jusqu'à d'environ 5 mg/L. Par suite, au fur et à mesure de l'augmentation de la quantité de chitosane ajouté, la vitesse a augmenté significativement. Ceci est valide jusqu'à la concentration de 20 mg/L. Au-dessus de cette valeur l'augmentation du dosage du polymère ne provoque plus une augmentation importante de la vitesse. De plus, à partir des résultats de la série C il semble possible d'avoir un surdosage du coagulant qui peut se manifester par la diminution de la vitesse de décantation.

La régression nonlinéaire effectuée par Datafit 6.1.10 envisage trois modèles pour représenter la relation entre la concentration de chitosane et l'IVB_C. Les valeurs des paramètres et les coefficients de détermination multiple sont présentés au Tableau 4.8. Tous ces modèles possèdent un très bon R². Mais, une analyse statistique relève la présence de variables nonsignificatives dans le deuxième et le troisième modèle du tableau, alors que tous les paramètres impliqués dans le premier modèle s'avèrent significatifs ce qui est montré par l'analyse des paramètres donnée à l'annexe D. Les modèles obtenus par l'élimination du composant quadratique des deuxième et troisième modèles révèlent toujours un R² au-dessus de

0,90 et ils s'ajustent bien aux données. L'ajustement du premier modèle est présenté à la Figure 4.39. Le deuxième, sans paramètres nonsignificatifs, est illustré à la Figure 4.40. Le troisième modèle s'ajuste identiquement comme le deuxième.

TABLEAU 4.8 : MODÈLES PLAUSIBLES POUR DÉCRIRE LA RELATION ENTRE L'IVB_C ET LA CONCENTRATION DE CHITOSANE POUR LA BOUE EN ÉTAT DE GONFLEMENT.

| Modèle | | Série | |
|---------------------------------|----------------|---------|---------|
| | | C | E |
| $IVB_C = \exp(a + b x + c x^2)$ | a | 6,7284 | 5,8782 |
| | b | -0,2006 | -0,1197 |
| | c | -0,0048 | -0,0028 |
| | R ² | 0,948 | 0,948 |
| $IVB_C = a/(1 + b x + c x^2)$ | a | 25,827 | 18,887 |
| | b | 19,589 | 22,803 |
| | c | 7,551 | 7,813 |
| | R ² | 0,987 | 0,924 |
| $IVB_C = 1/(a + b x + c x^2)$ | a | 6,368 | 0,003 |
| | b | 0,399 | 0,0004 |
| | c | -3,027 | -4,711 |
| | R ² | 0,989 | 0,924 |

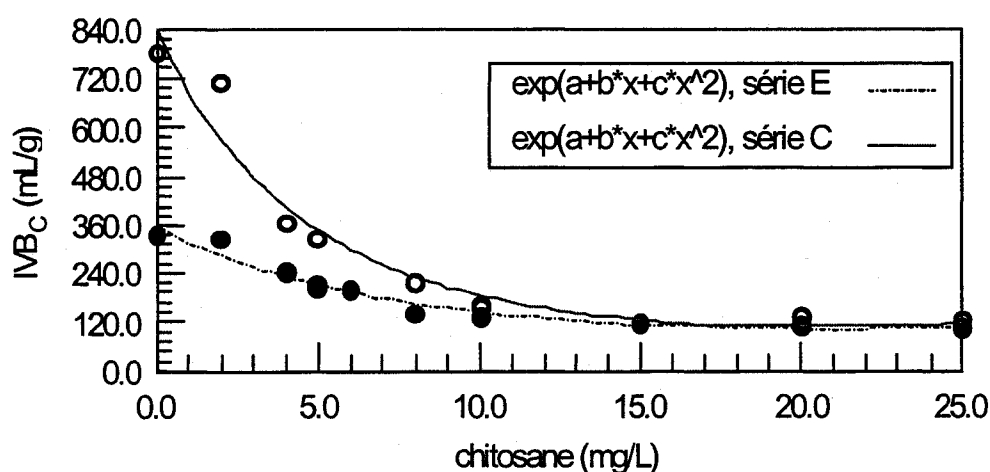


Figure 4.39 : Le premier modèle pour décrire la relation entre l'IVB_C et la concentration de chitosane pour la boue en état de gonflement.

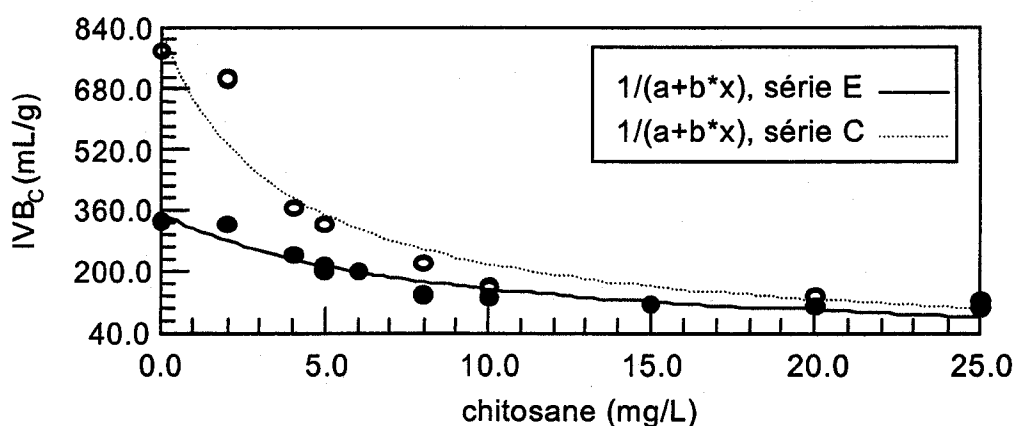


Figure 4.40 : Le deuxième modèle pour décrire la relation entre l'IVB_C et la concentration de chitosane pour la boue en état de gonflement.

La tentative pour établir une relation entre la vitesse de décantation et la concentration du chitosane a résulté en trois modèles de trois paramètres. D'après l'analyse statistique réalisée par le logiciel Datafit 6.1.10, ces modèles s'ajustent bien aux données obtenues. Ceci est évident d'après le Tableau 4.9 et les Figures 4.41, 4.42 et 4.43.

TABLEAU 4.9 : MODÈLES PLAUSIBLES POUR DÉCRIRE LA RELATION ENTRE LA VITESSE DE DÉCANTATION ET LA CONCENTRATION DE CHITOSANE POUR LA BOUE EN ÉTAT DE GONFLEMENT.

| Modèle | | Série | |
|------------------------------------|----------------|---------|---------|
| | | C | E |
| $V_C = \exp(a + b x + c x^2)$ | a | - 0,114 | - 1,321 |
| | b | 0,343 | 0,374 |
| | c | - 0,009 | - 0,008 |
| | R ² | 0,974 | 0,987 |
| $V_C = a \exp((- (x-b)^2) / 2c^2)$ | a | 25,827 | 18,887 |
| | b | 19,589 | 22,803 |
| | c | 7,551 | 7,813 |
| | R ² | 0,974 | 0,987 |
| $V_C = x / (a + b x + c \sqrt{x})$ | a | 6,368 | 11,438 |
| | b | 0,399 | 0,539 |
| | c | - 3,027 | - 4,711 |
| | R ² | 0,993 | 0,989 |

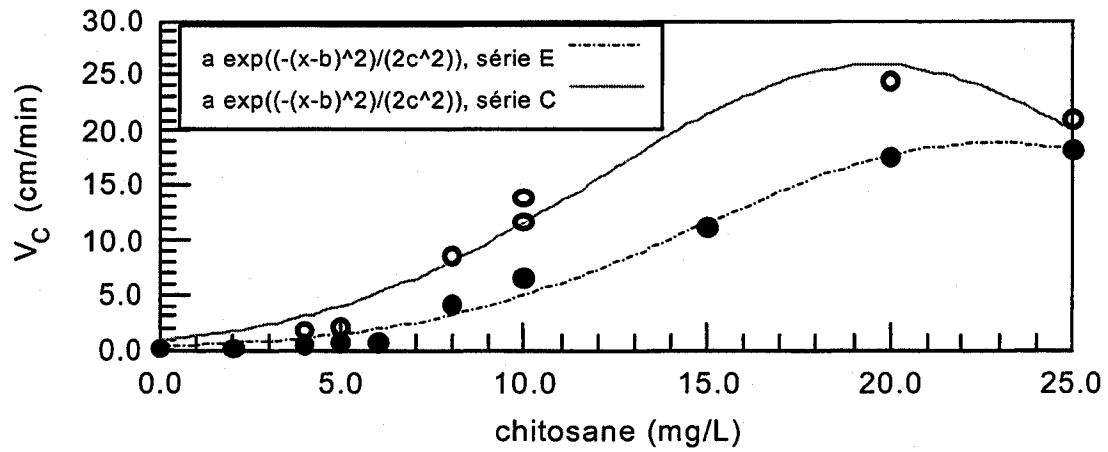


Figure 4.41 : Le premier modèle plausible pour décrire la relation entre la V_C et la concentration de chitosane pour la boue en état de gonflement.

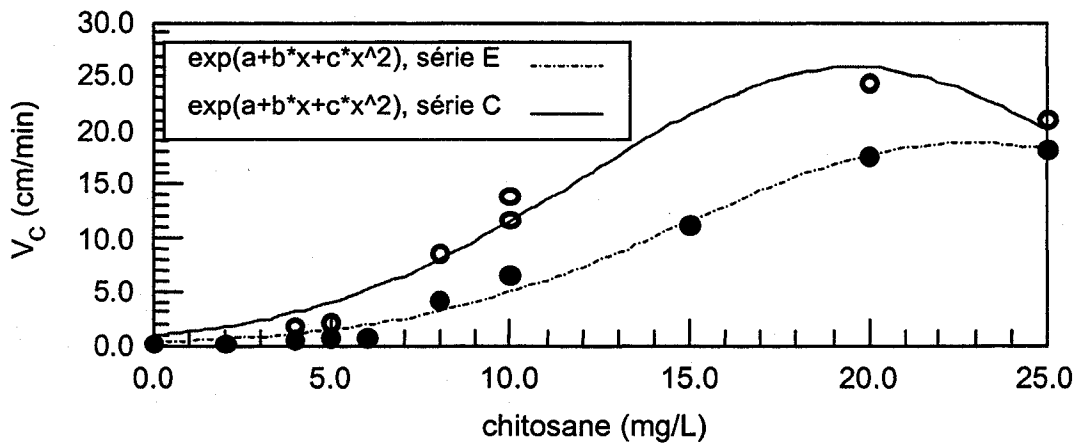


Figure 4.42 : Le deuxième modèle plausible pour décrire la relation entre la V_C et la concentration de chitosane pour la boue en état de gonflement.

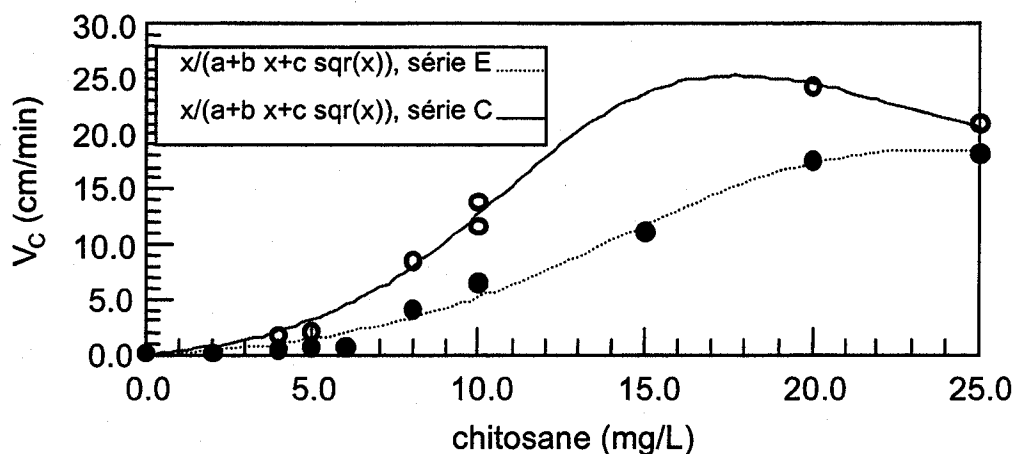


Figure 4.43 : Le troisième modèle plausible pour décrire la relation entre la V_c et la concentration de chitosane pour la boue en état de gonflement.

Le Tableau 4.9 montre que le coefficient de détermination multiple de tous les trois modèles est supérieur à 0,95. La valeur de ce coefficient a été plus déterminante pour le choix de la forme de la relation. De plus, à partir des résultats de la régression nonlinéaire donnés à l'annexe D, les autres conditions nécessaires pour que le modèle soit adéquat sont aussi examinées. La présence des variables nonsignificatives a été relevée seulement dans le cas d'ajustement du premier modèle pour la série C.

Les résultats présentés ont démontré les effets bénéfiques du chitosane sur la décantation de la boue activée en état de gonflement. Dans les stations existantes on a besoin de réagir rapidement dans ce cas afin d'empêcher la perte de la biomasse de la station et ainsi, la détérioration importante de la qualité de l'effluent causé par cette perte. On soupçonne que lors de nos essais le chitosane a réagi avec les polymères sécrétés par les colonies de *zooglea*, ce qui a résulté en amélioration importante de la décantation de la boue. Les effets positifs ont été plus prononcés sur la phase de la décantation ralentie que sur la compression de boue.

4.2 Effets du chitosane sur le traitement biologique dans le RBS

Les effets du chitosane sur le traitement biologique dans le RBS sont étudiés lors de deux séries d'expériences et les valeurs numériques des résultats obtenus sont données à l'annexe C.

4.2.1 Série d'expériences A

a) Matière organique carbonée

Afin de connaître les effets du chitosane sur le traitement biologique du RBS on a suivi les évolutions journalières du COT dans l'affluent et l'effluent aussi que l'évolution du COT dans le surnageant de la liqueur mixte lors de la phase de réaction du premier cycle. La Figure 4.44 montre les évolutions du COT dans l'affluent et l'effluent du réacteur tandis que la figure 4.45 illustre l'efficacité d'enlèvement du COT par la biomasse. Les valeurs numériques se trouvent au Tableau C.1.

Après le deuxième jour de fonctionnement du réacteur on remarque l'augmentation de l'efficacité d'enlèvement du COT. La cinquième journée on a obtenu la concentration du COT dans l'effluent de 12,6 mg C/L, soit un abattement du COT de 93%. Par la suite, les bactéries hétérotrophes dégradent le substrat avec une moyenne sur le rendement de traitement de 95% pour fournir un effluent n'ayant que $9,6 \pm 0,9$ mg C/L. L'introduction du chitosane dans le RBS lors du cycle VI de la 7^{ème} journée n'a pas changé l'efficacité de la biomasse au niveau de l'enlèvement de la pollution carbonée. De plus, cette efficacité demeure stable lors des cycles suivant l'ajout du chitosane.

Les courbes d'évolution du COT dans le surnageant lors de la réaction, obtenues pendant quatre différents jours du fonctionnement du RBS, sont données à la Figure 4.46 et au Tableau C.2. La cinquième journée la concentration du COT dans le surnageant diminue rapidement après la fin du remplissage du réacteur. La majeure partie du COT (plus de 80%) est enlevée durant une heure de réaction. Par la suite, un très faible enlèvement de la matière carbonée initiale est observé jusqu'à la fin de la réaction, où elle était égale à 11,2 mg C/L. Deux jours après,

l'enlèvement du COT se produit encore plus vite et le profil du COT a baissé par rapport à celui obtenu lors de la cinquième journée. La concentration du COT est tombée au-dessous de 10 mg C/L après 90 minutes de réaction. Les profils du COT enregistrés lors des cycles suivant l'ajout du chitosane dans le RBS ne diffèrent pas significativement des profils obtenus lors des cycles précédents. Il semble que le chitosane ne montre pas d'impacts négatifs sur la dégradation de la matière carbonée.

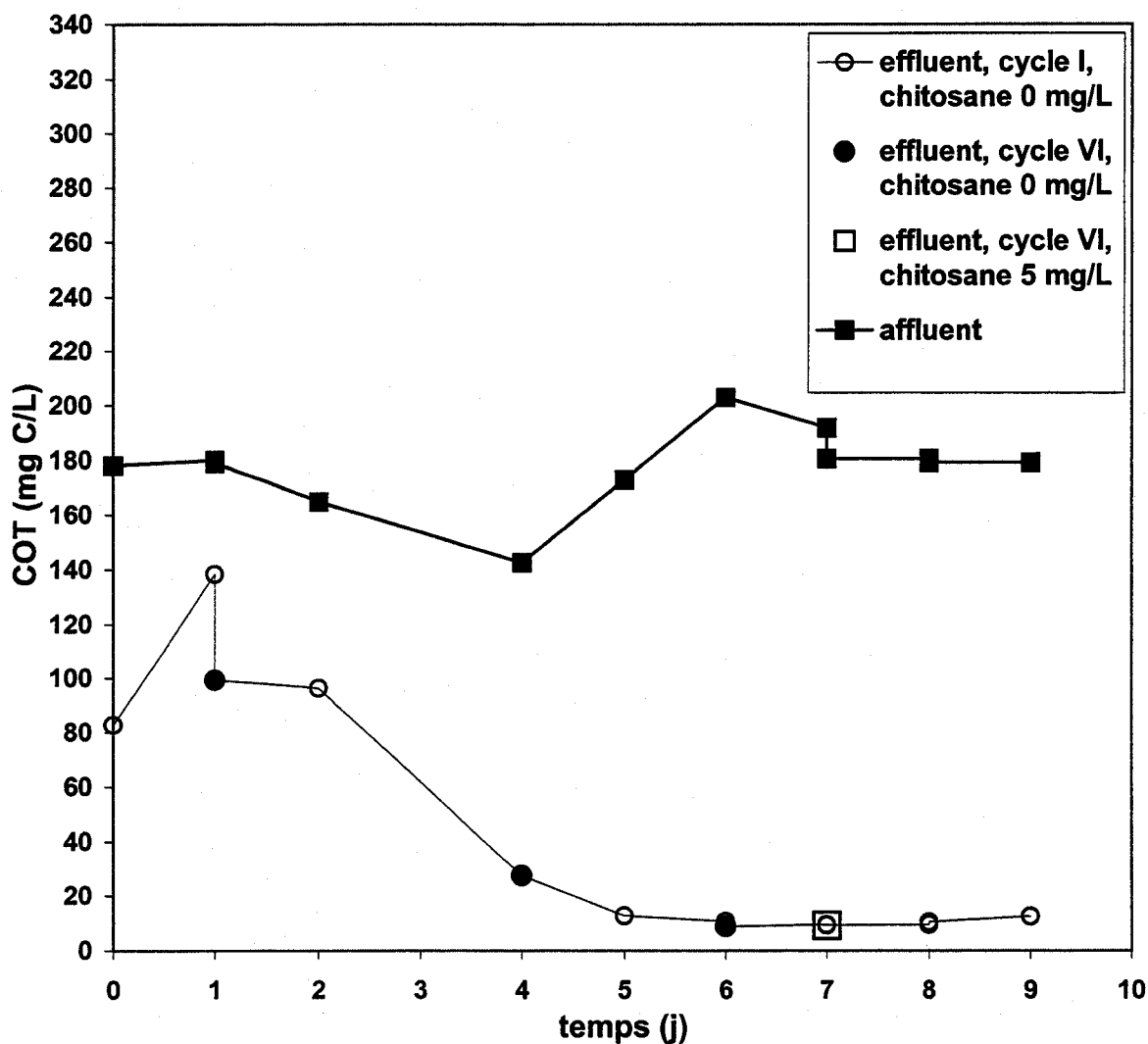


Figure 4.44 : Évolution journalière du COT dans l'affluent et l'effluent du RBS pendant la série A.

Mais ce qui est intéressant c'est qu'une légère libération de la matière organique soluble dans le liquide se produit après 105 minutes du cycle de la 9^{ième} journée. La concentration du COT à la fin de la réaction est modiquement plus élevée par rapport aux concentrations observées lors des jours précédents et elle est égale à 13,3 mg C/L. Mais c'est possible que cette augmentation ne soit que le résultat d'une erreur expérimentale sur le COT étant donné qu'il s'agit de concentrations très faibles et la calibration d'appareil pour l'analyse est faite pour la gamme de 0 à 400 mg/L.

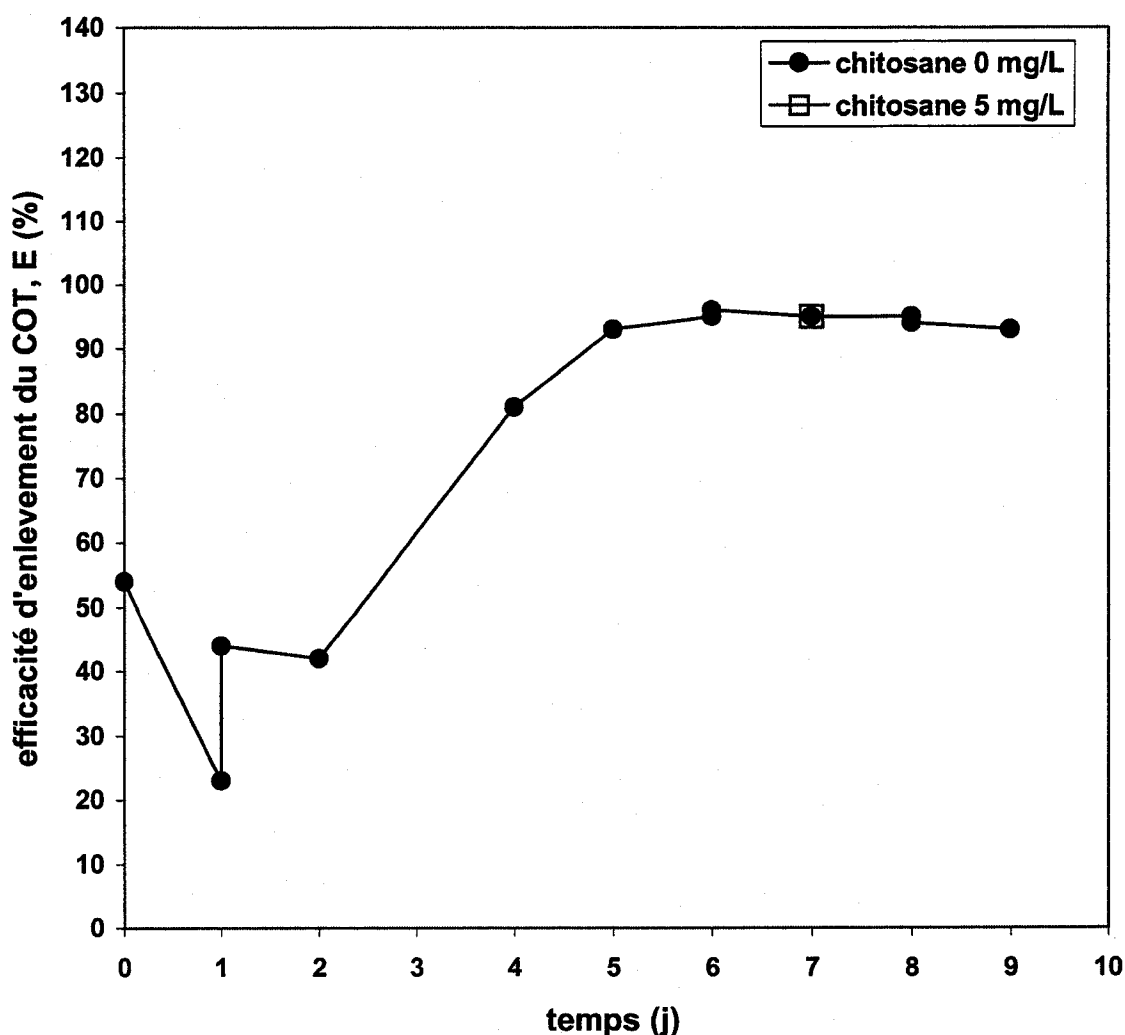


Figure 4.45 : Efficacité d'enlèvement du COT dans le RBS pendant la série A.

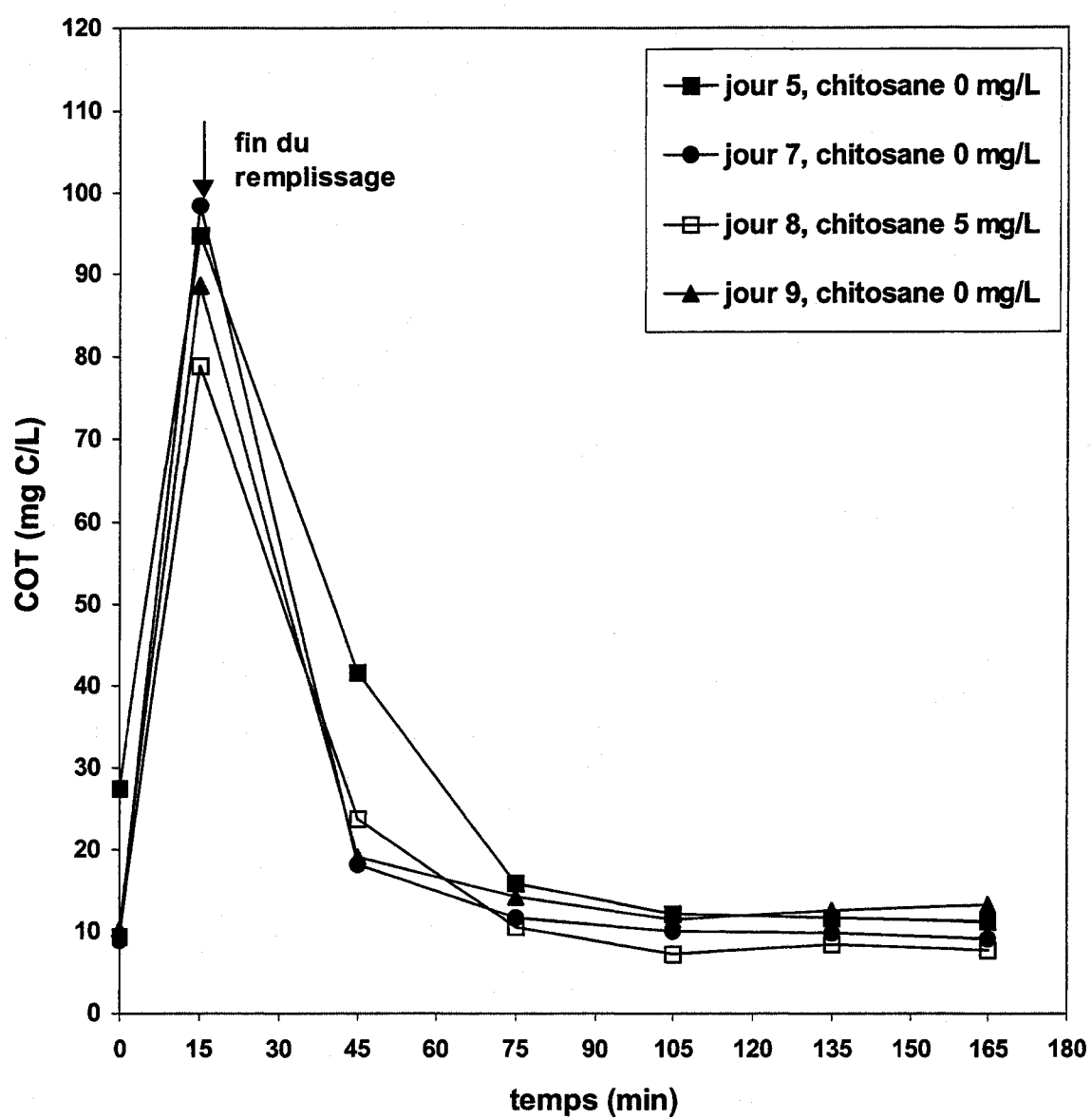


Figure 4.46 : Évolution du COT dans le surnageant de la liqueur mixte du RBS pendant la phase de réaction du premier cycle avant et après l'ajout du chitosane lors de la série A.

b) MLSS et MVLSS

Un aperçu des évolutions journalières de la MLSS et la MVLSS dans le réacteur est donné à la Figure 4.47. D'habitude on a pris deux mesures au cours d'une journée. La première mesure correspond au premier cycle et la deuxième plus élevée au dernier, soit le cycle VI juste avant le soutirage de boue. Ainsi, la différence entre deux concentrations mesurées lors d'un même jour

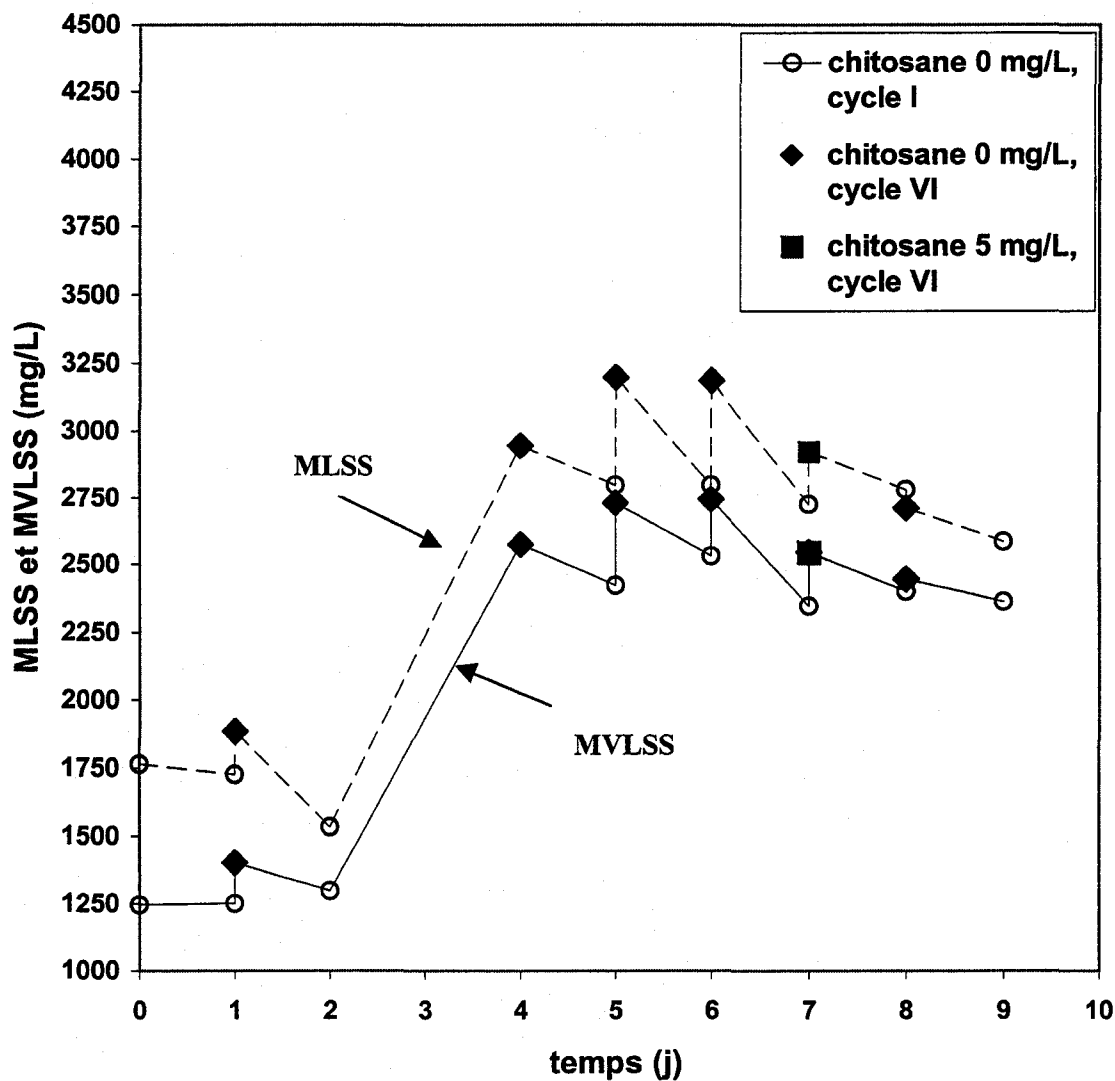


Figure 4.47 : Évolutions journalières de la MLSS et la MVLSS dans la liqueur mixte du RBS pendant la série A.

représente l'augmentation journalière de la biomasse. En raison du soutirage de boue, la concentration de la MLSS et la MVLSS baisse et elle est plus faible au cours du cycle I du jour suivant pour qu'elle remonte à nouveau.

On observe une augmentation de la MLSS dans la liqueur mixte au cours de la période de la stabilisation. Après quatre jours de fonctionnement du RBS la concentration de la MLSS se stabilise à une valeur de 2774 ± 42 mg/L qui est enregistrée lors du premier cycle. Le volume de la liqueur mixte soutirée régulièrement à la fin de la réaction du dernier cycle est d'environ 1600 mL. Le pourcentage de la matière volatile en suspension est de 87% et ainsi, la concentration de la MVLSS dans le RBS est de 2433 ± 94 mg/L. On observe une augmentation de la concentration de la MVLSS dans le RBS au cours de la journée autour de 200 mg/L. Une très faible chute de la MLSS dans le RBS lors de la 7^{ième} journée peut être provoquée par les prélèvements des échantillons au cours de la réaction lors des jours avant l'ajout du chitosane. Lors des jours suivant cet ajout on remarque un abattement en production de la biomasse. Ainsi, la concentration de la MVLSS mesurée à la fin de la réaction du cycle VI au 8^e jour n'est pas beaucoup plus élevée par rapport à celle enregistrée lors du premier cycle. On ne pense pas que le chitosane pouvait provoquer une diminution en production de la biomasse, mais on doute plutôt que c'est une conséquence de soutirage d'un considérable volume de la liqueur mixte afin de réaliser les analyses nécessaires.

c) Azote

Les Figures 4.48 à 4.54 montrent la tendance du comportement de l'azote dans le RBS au cours de la série A. Il semble qu'on n'a pas réussi à atteindre la stabilité du comportement de l'azote dans le RBS avant l'ajout de chitosane ce qui rend difficile l'interprétation des résultats concernant des effets du chitosane sur l'enlèvement biologique de l'azote. De plus, une fluctuation importante des mesures de NH_3 dans l'eau usée synthétique est présente (Figure 4.48).

Après quatre jours de fonctionnement le RBS atteint l'enlèvement de TKN de 69% et un effluent ayant le NH_3 -N de 3,7 mg N/L, des nitrates de 5,2 mg N/L et du TKN de 10,7 mg N/L. La

concentration des nitrates assez élevée dans l'effluent indique que la nitrification se produit dans le RBS. Lors de la journée les nitrates chutent à 2,6 mg N/L et $\text{NH}_3\text{-N}$ augmente à une valeur de $8,4 \pm 1,1$ mg N/L. Ainsi, on observe une diminution du degré de nitrification. Cette diminution peut être provoquée par la diminution de l'âge de boue de 10,5 j à 6 j. L'efficacité d'enlèvement de TKN par la biomasse est d'une moyenne de 59%, et le système produit un effluent ayant $12,8 \pm 0,4$ mg N/L.

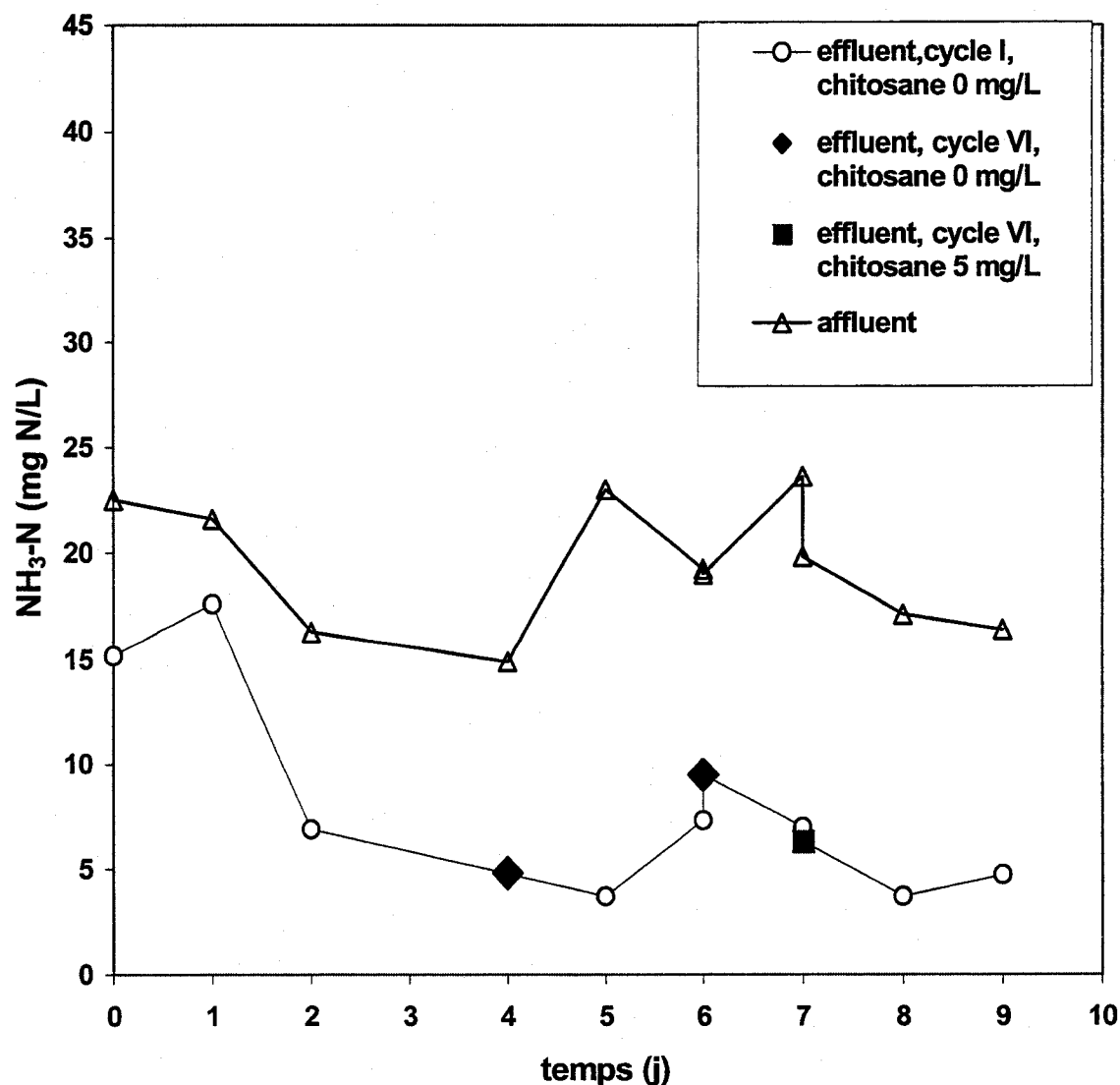


Figure 4.48 : Évolution journalière de l'azote ammoniacal $\text{NH}_3\text{-N}$ dans l'affluent et l'effluent du RBS pendant la série A.

Au cours du cycle avant l'ajout du chitosane la concentration du $\text{NH}_3\text{-N}$ est semblable à celle mesurée la journée précédente, soit 7,0 mg N/L. L'efficacité d'enlèvement du TKN est de 65% et l'effluent possède 11,8 mg N/L de TKN et 3,8 mg N/L de nitrates.

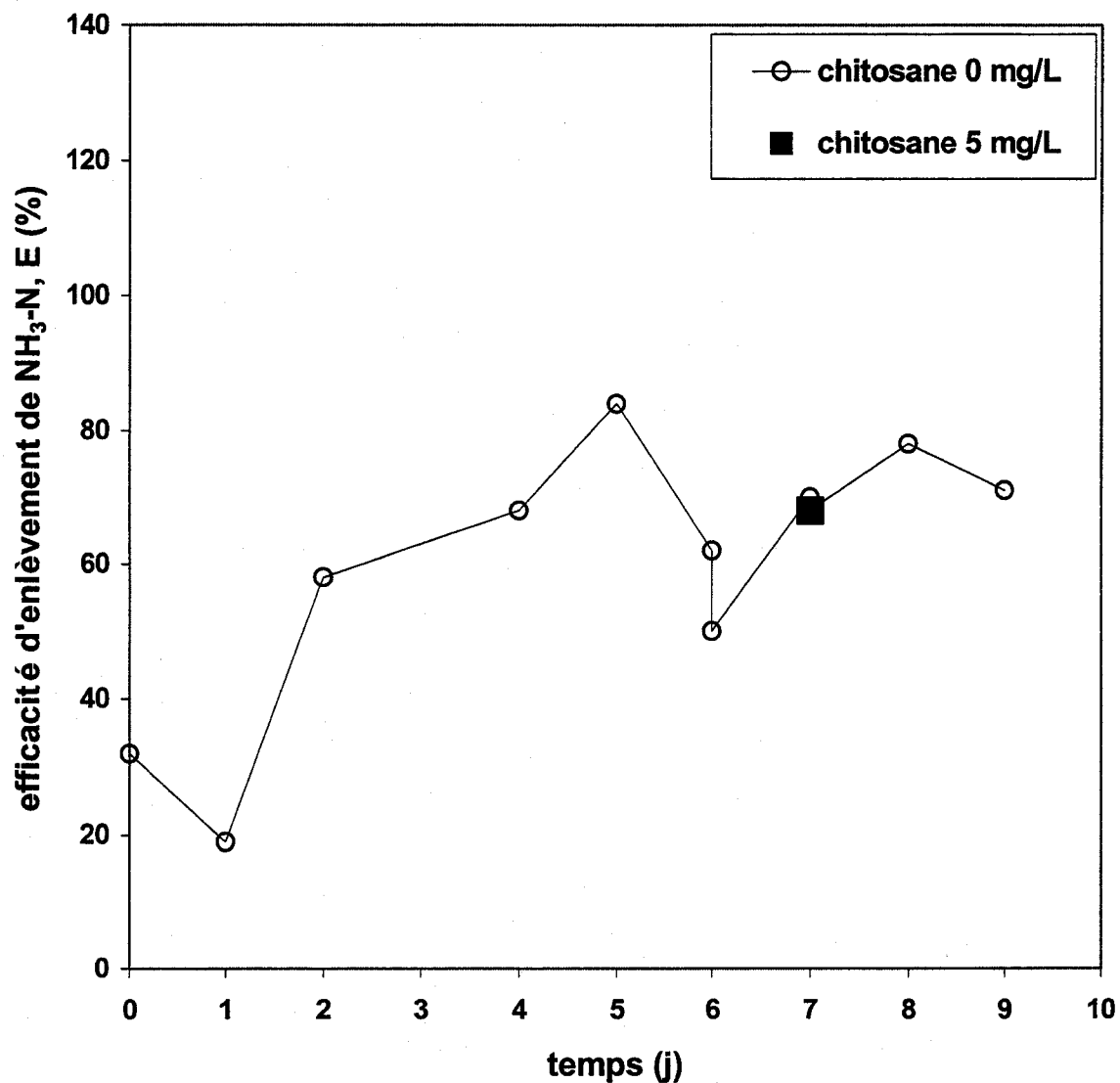


Figure 4.49 : Efficacité d'enlèvement de $\text{NH}_3\text{-N}$ dans le RBS pendant la série A.

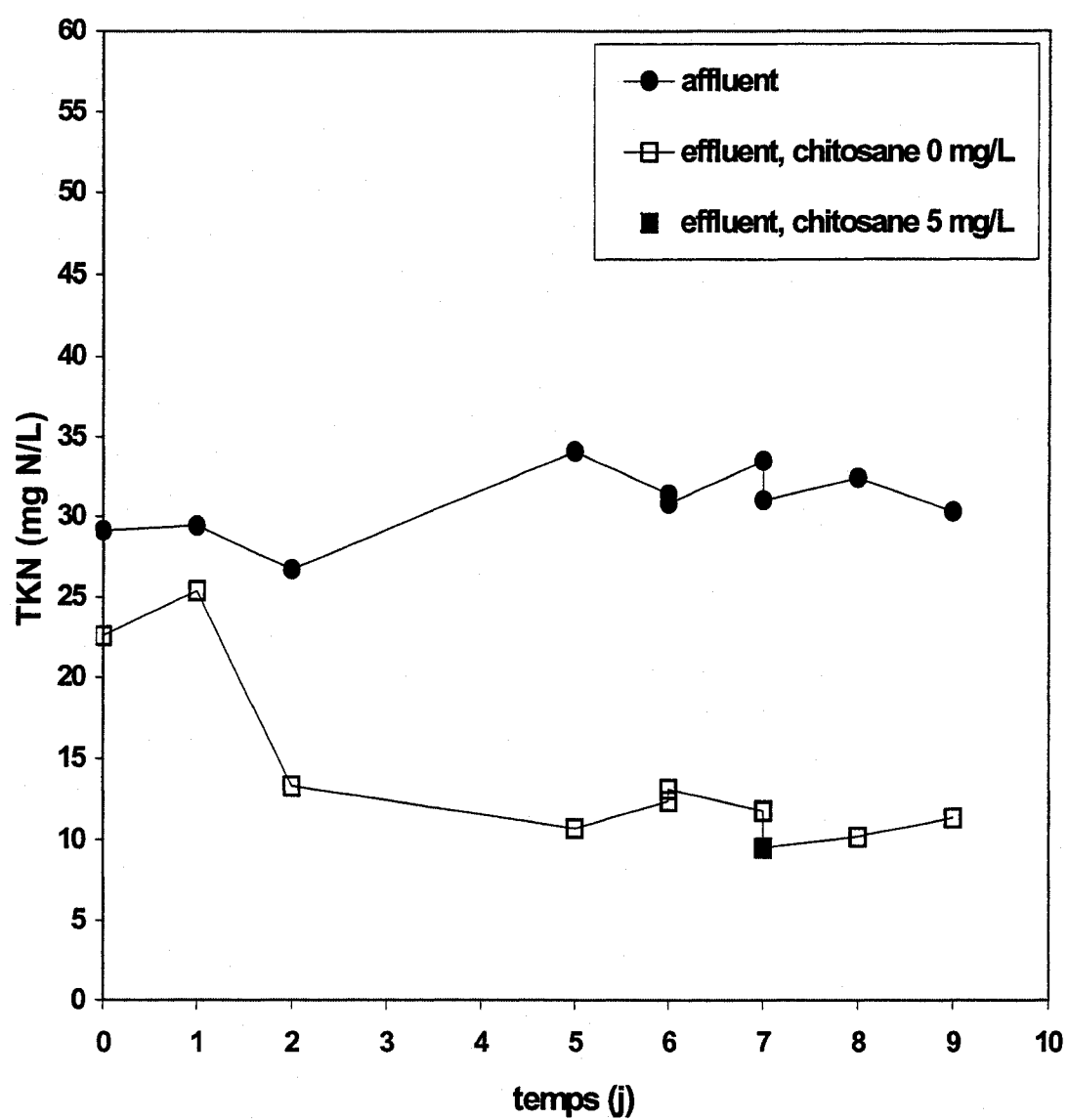


Figure 4.50 : Évolution journalière de TKN dans l'affluent et l'effluent du RBS pendant la série A.

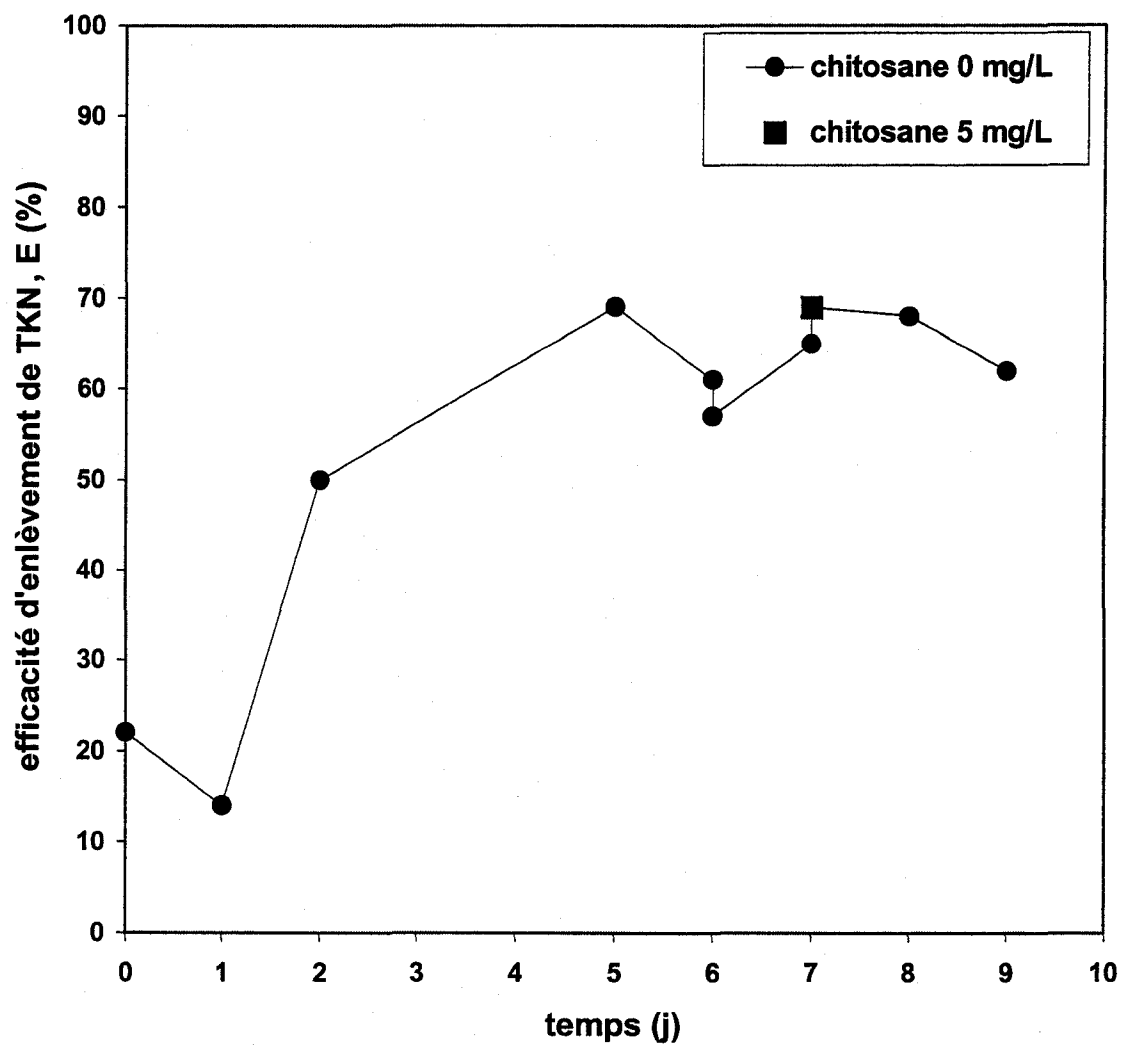


Figure 4.51 : Efficacité d'enlèvement de TKN dans le RBS pendant la série A.

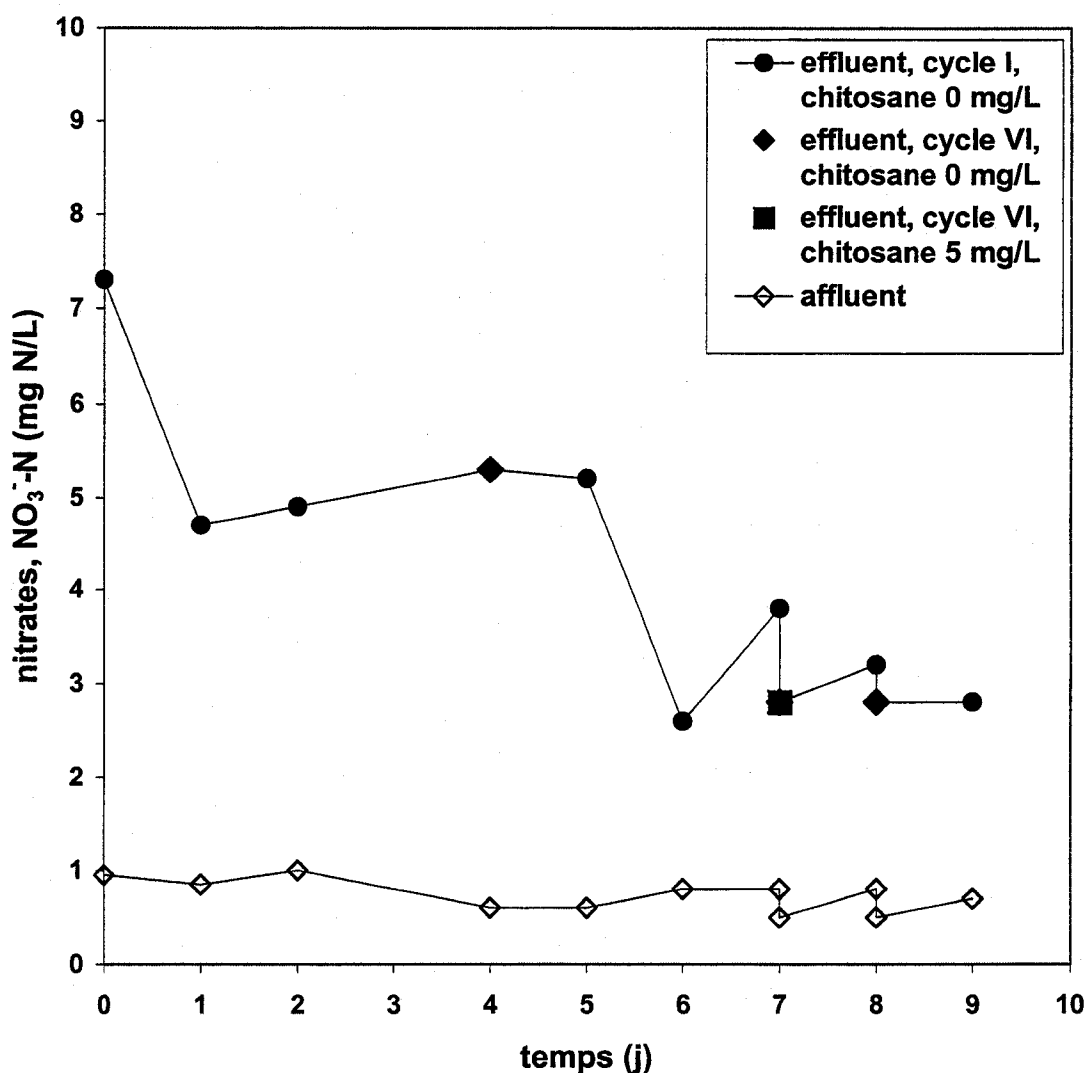


Figure 4.52 : Évolution journalière des NO_3 dans l'affluent et l'effluent du RBS pendant la série A.

Tel que montré sur les Figures 4.48 et 4.50 l'introduction du chitosane lors de cycle VI de la 7^{ème} journée n'affecte pas les concentrations de TKN et $\text{NH}_3\text{-N}$ dans l'effluent. Elles restent relativement semblables à celles mesurées lors de la même journée à la fin du premier cycle. Donc, le chitosane ajouté dans le RBS une minute avant le début de la décantation s'incorpore bien dans le floc de boue activée, ce qui est déjà montré par les résultats de décantation.

Lors des cycles qui suivent l'ajout du chitosane, la concentration des nitrates dans l'effluent mesurée lors du cycle I légèrement diminue (Figure 4.52). Pourtant la concentration $\text{NH}_3\text{-N}$ dans l'effluent diminue légèrement par rapport à celle observée lors des jours qui précèdent cet ajout (Figure 4.48). D'un autre côté, on remarque une légère augmentation de TKN (Figure 4.50). Les résultats obtenus suggèrent la possibilité d'une faible augmentation de l'azote organique dans l'effluent. Deux explications de la raison de cette augmentation sont postulées. D'abord, on doute qu'elle soit provoquée par l'augmentation de la MES dans l'effluent lors des deux derniers jours de fonctionnement du réacteur (Figure 4.4). Deuxièmement, on a déjà mentionné la possibilité du bris de la chaîne du chitosane en raison de l'aération intensive au cours de la réaction. Ainsi, le groupe aminé provenant de ce polymère organique pourrait influencer la quantité de l'azote organique dans le liquide.

Les Figures 4.53 et 4.54 illustrent respectivement le comportement de $\text{NH}_3\text{-N}$ et de TKN dans le surnageant de la liqueur mixte des échantillons prélevés à des intervalles de temps réguliers au cours de la réaction dans le RBS lors des jours avant et après l'ajout du chitosane.

Sur la Figure 4.53 on remarque que l'enlèvement de $\text{NH}_3\text{-N}$ est relativement plus important au cours du jour 5. Ainsi au cours des premières 105 minutes de réaction plus de 85 % de l'azote ammoniacal présent à la fin de remplissage disparaît. Par la suite la concentration de $\text{NH}_3\text{-N}$ reste stable jusqu'à la fin de la réaction. Lors du cycle avant l'ajout du chitosane (jour 7, cycle I) on constate que le pourcentage de $\text{NH}_3\text{-N}$ enlevé au cours des 105 minutes est inférieur à 80%. Le profil ensuite remonte légèrement à 4,4 mg N/L. Pourtant, la concentration de $\text{NH}_3\text{-N}$ dans l'effluent est plus élevée par rapport à celle à la fin de la réaction et elle est égale à 7,0 mg N/L (Figure 4.48). C'est difficile d'expliquer cette augmentation de l'azote ammoniacale au cours de la décantation s'il ne s'agit d'une erreur expérimentale sur le $\text{NH}_3\text{-N}$. Cet azote ammoniacal peut-il être libéré de la part de cellules bactériennes qui se trouvent en état de la respiration endogène pendant la décantation ? Au cours du cycle juste après l'ajout du chitosane (jour 8) l'enlèvement de $\text{NH}_3\text{-N}$ n'est pas observé au cours des premières 30 minutes après remplissage. Lors des 30 minutes suivantes 61% de $\text{NH}_3\text{-N}$ présent à la fin du remplissage est enlevé et un faible, mais continu enlèvement se poursuit jusqu'à la fin de la réaction. Une très faible concentration de $\text{NH}_3\text{-N}$ de 2,5 mg N/L est mesurée à la fin de la réaction. Le profil enregistré lors du dernier jour

de fonctionnement du réacteur montre le plus faible enlèvement de $\text{NH}_3\text{-N}$ au cours du cycle et une concentration de 3,9 mg N/L à la fin de la réaction.

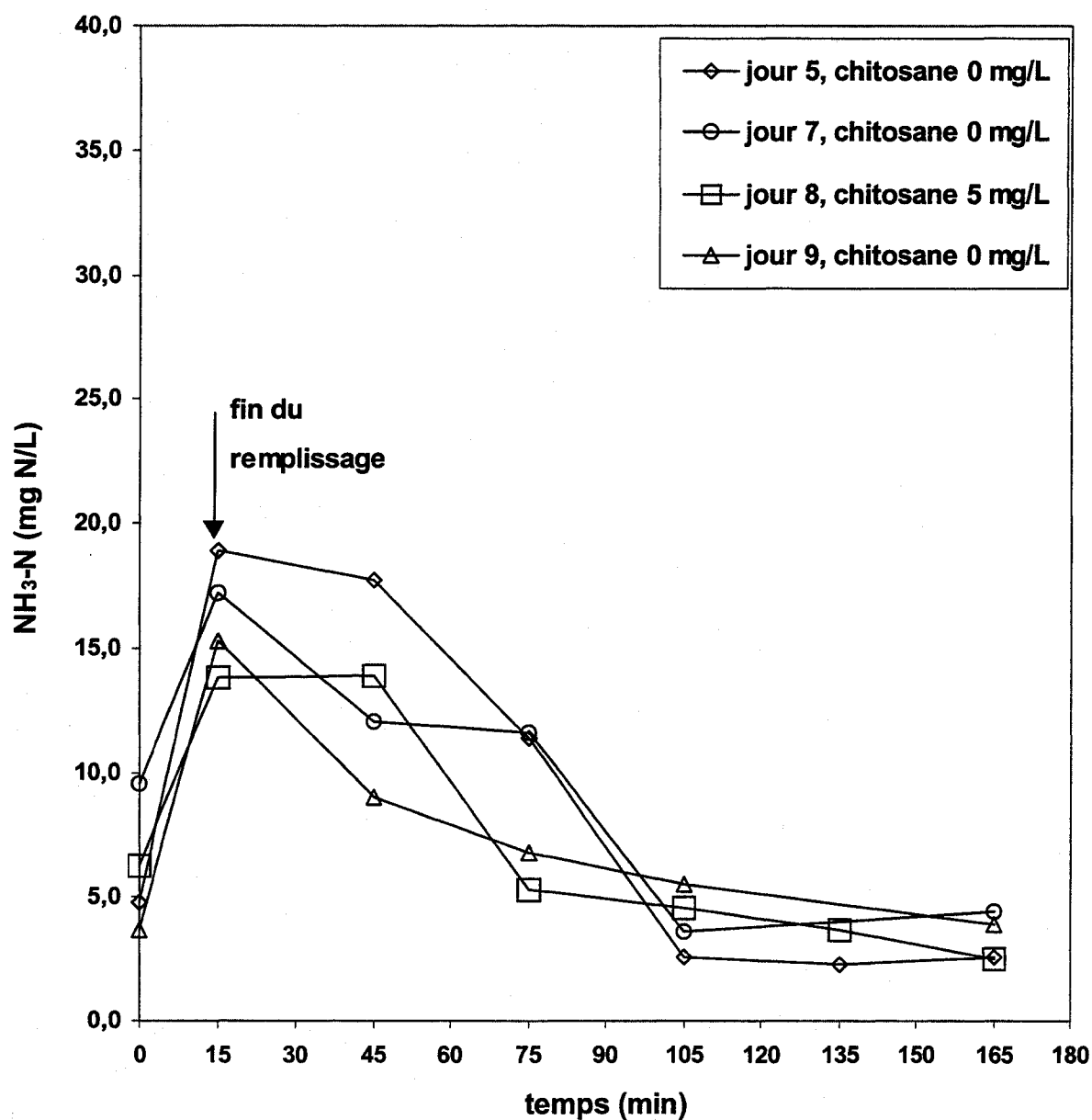


Figure 4.53 : Évolution de $\text{NH}_3\text{-N}$ dans le surnageant de la liqueur mixte du RBS pendant la phase de réaction du premier cycle de la série A.

La Figure 4.54 illustre la comparaison de deux profils du TKN enregistrés lors des cycles avant et après l'ajout du chitosane. Lors des deux cycles un très faible enlèvement du TKN est remarqué au cours des 30 minutes suivant le remplissage. Les trente minutes suivantes apportent un considérable gradient de la concentration du TKN. Par la suite, une très faible diminution de TKN se réalise jusqu'à la fin de réaction. D'un autre côté, le profil noté après l'ajout du chitosane montre une diminution plus graduelle à partir de 30 minutes après le remplissage, pour donner presque la même concentration du TKN à la fin de la réaction que celle du jour précédent.

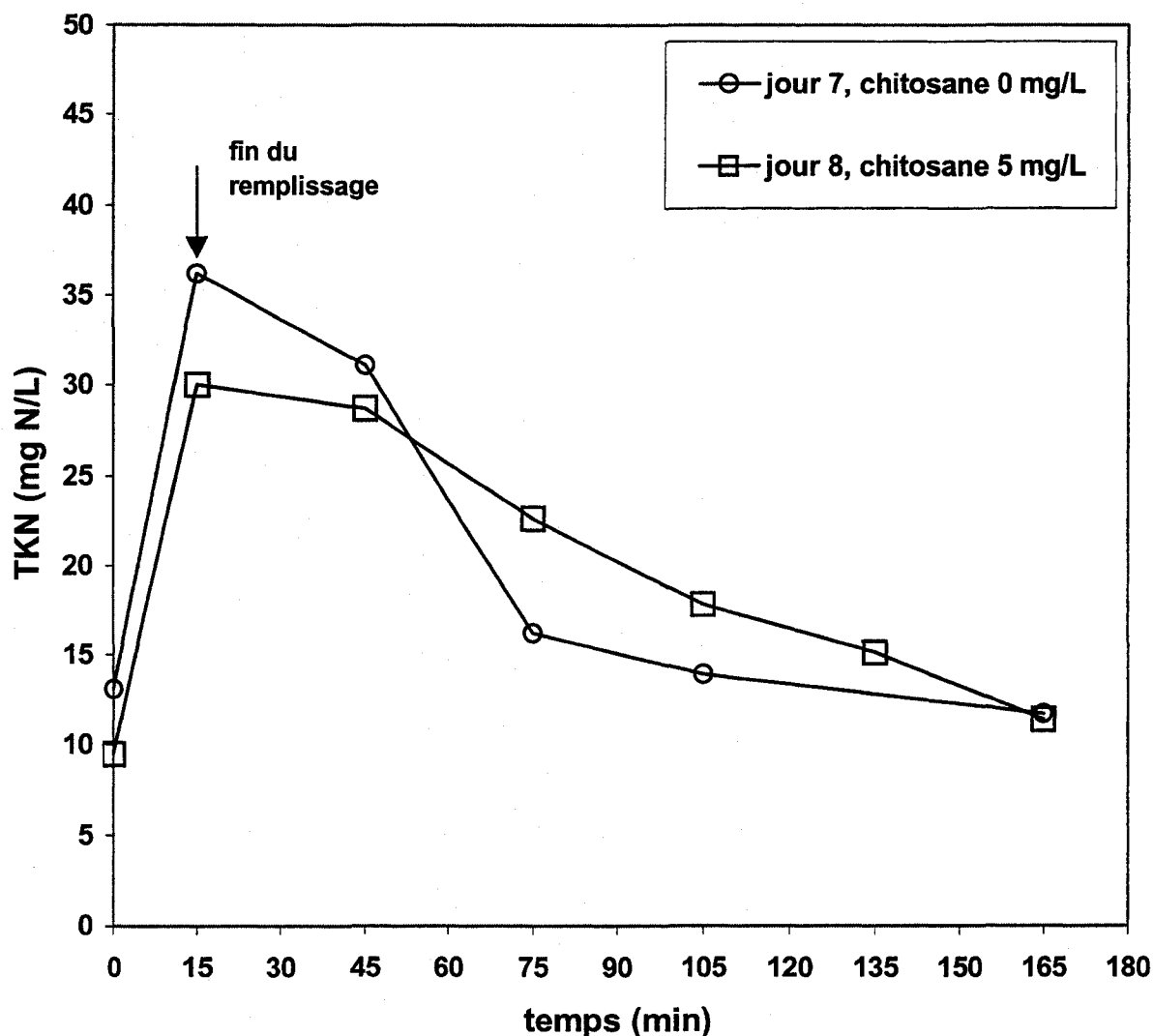


Figure 4.54 : Évolution du TKN dans le surnageant de la liqueur mixte du RBS pendant la phase de réaction du premier cycle de la série A.

d) Phosphore

Les résultats concernant le comportement des orthophosphates et du phosphore total dans le système sont présentés aux Figures 4.55 à 4.58. L'eau usée synthétique contient principalement des orthophosphates à une concentration moyenne de 11,3 mg $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$ (3,7 mg P/L). Tout au début du démarrage du réacteur les bactéries ne pouvaient pas fournir un enlèvement important des orthophosphates (Figures 4.55 et 4.56). Après quatre jours de marche du système l'efficacité d'enlèvement des orthophosphates augmente significativement et elle atteint la stabilité au cours des trois jours suivants avec une moyenne de 94%. La concentration des orthophosphates à l'effluent est égale à $0,78 \pm 0,1$ mg $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$. Après l'ajout du chitosane dans le réacteur on remarque une légère augmentation de la concentration des PO_4^{3-} dans l'effluent, qui persiste aussi au cours des cycles suivant cet ajout. Cette observation inattendue reste inexplicable.

La tendance du comportement du phosphore total à partir du démarrage du RBS jusqu'à l'ajout du chitosane est similaire à celle des PO_4^{3-} (Figures 4.57 et 4.58). Après quatre jours le RBS possède une efficacité moyenne d'enlèvement du P_t de 79% et l'effluent n'ayant que 0,9 mg P/L (2,7 mg $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$). L'introduction du chitosane dans le RBS à la fin de la décantation n'affecte pas la concentration de P_t dans l'effluent du même cycle. Par contre, les concentrations de P_t mesurées à l'effluent lors des cycles suivants ont augmenté. Ceci peut s'expliquer par l'augmentation des MES dans l'effluent (Figure 4.4) qui pourrait représenter une source importante d'apport du phosphore total dans l'effluent.

4.2.2 Série d'expériences B

a) Matière organique carbonée

Lors de la série B une très faible concentration du COT dans l'effluent, au-dessous de 10 mg C/L, est obtenue à partir du troisième jour de fonctionnement du réacteur (Figure 4.59). Le RBS possède une très bonne efficacité d'enlèvement du COT de 95% avant l'ajout du chitosane (Figure 4.60). Après l'ajout du chitosane au dosage de 15 mg/L, la qualité de l'effluent ne change pas et le RBS retient la même efficacité qui a été observée antérieurement.

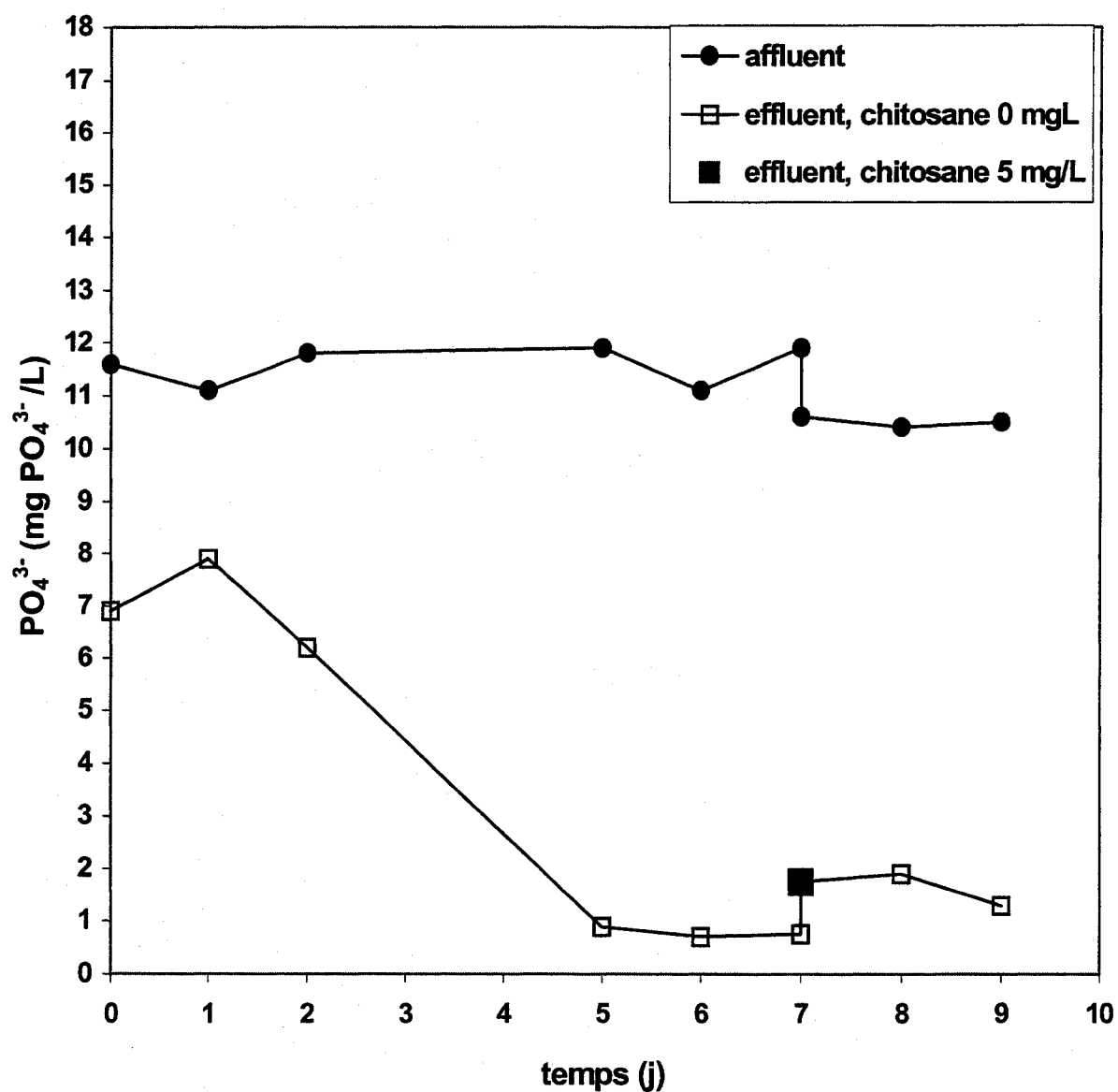


Figure 4.55 : Évolution journalière des PO_4^{3-} dans l'affluent et l'effluent du RBS pendant la série A.

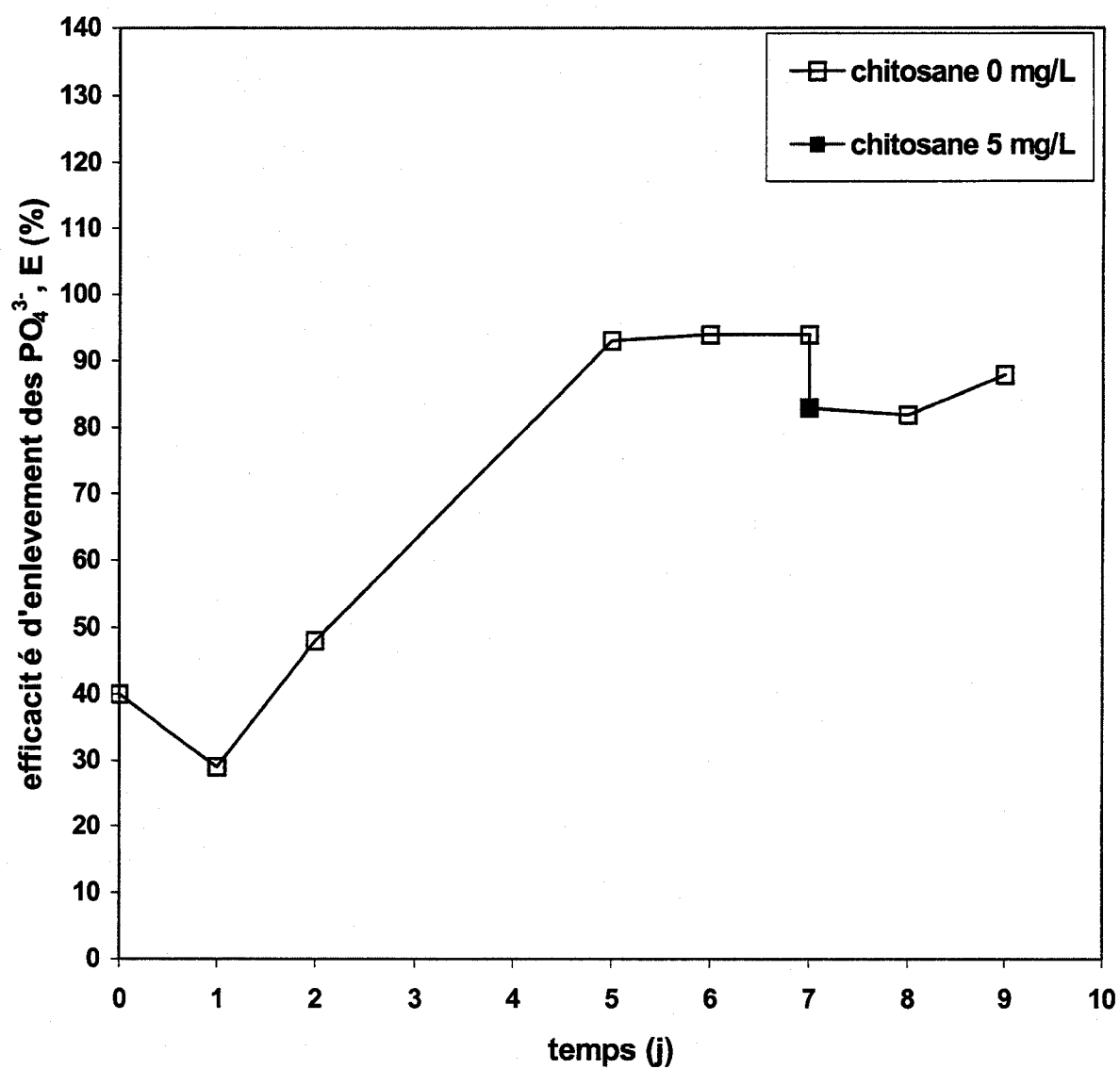


Figure 4.56 : Efficacité d'enlèvement des PO_4^{3-} dans le RBS pendant la série A.

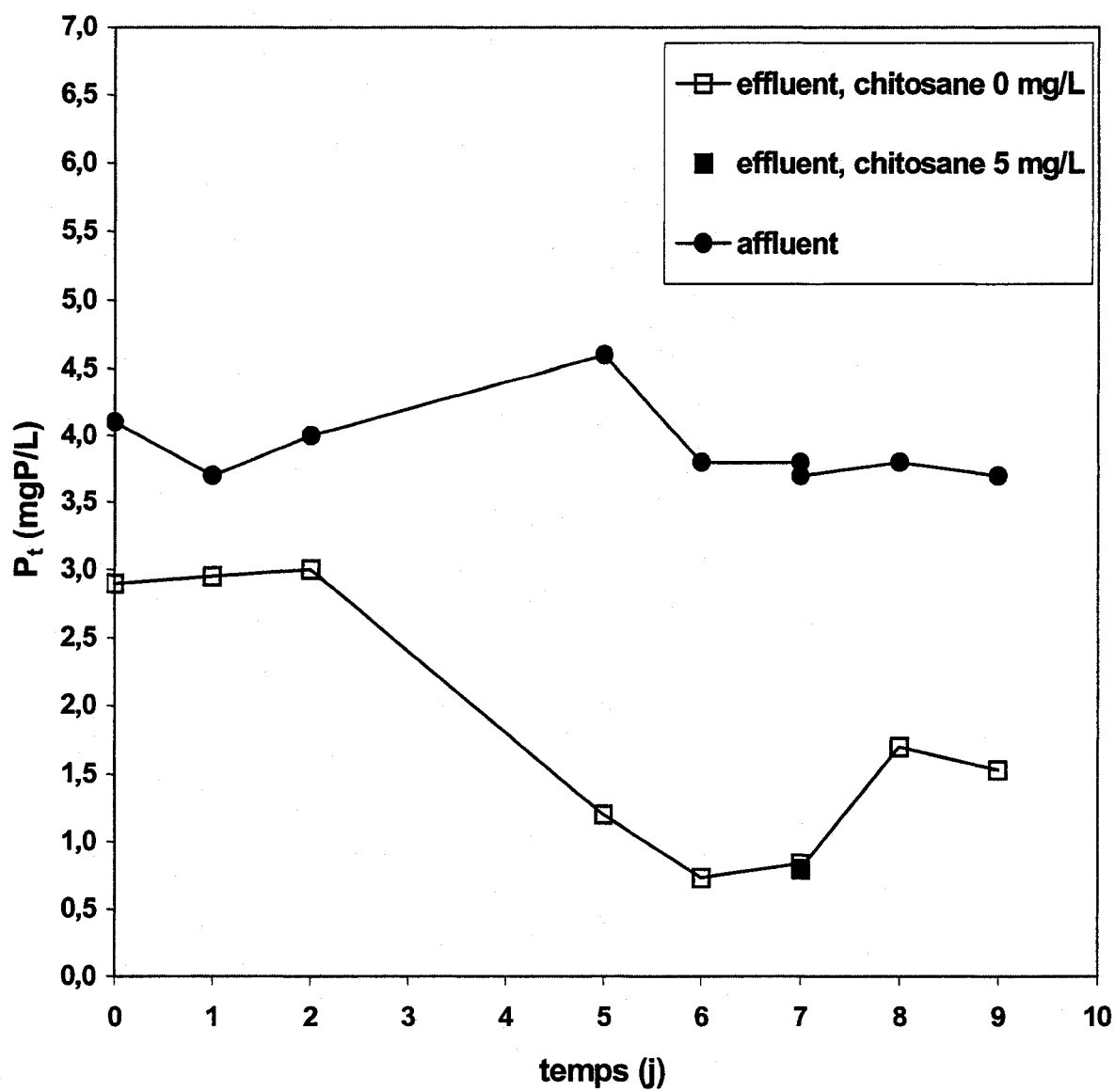


Figure 4.57 : Évolution journalière du P_t dans l'affluent et l'effluent du RBS pendant la série A.

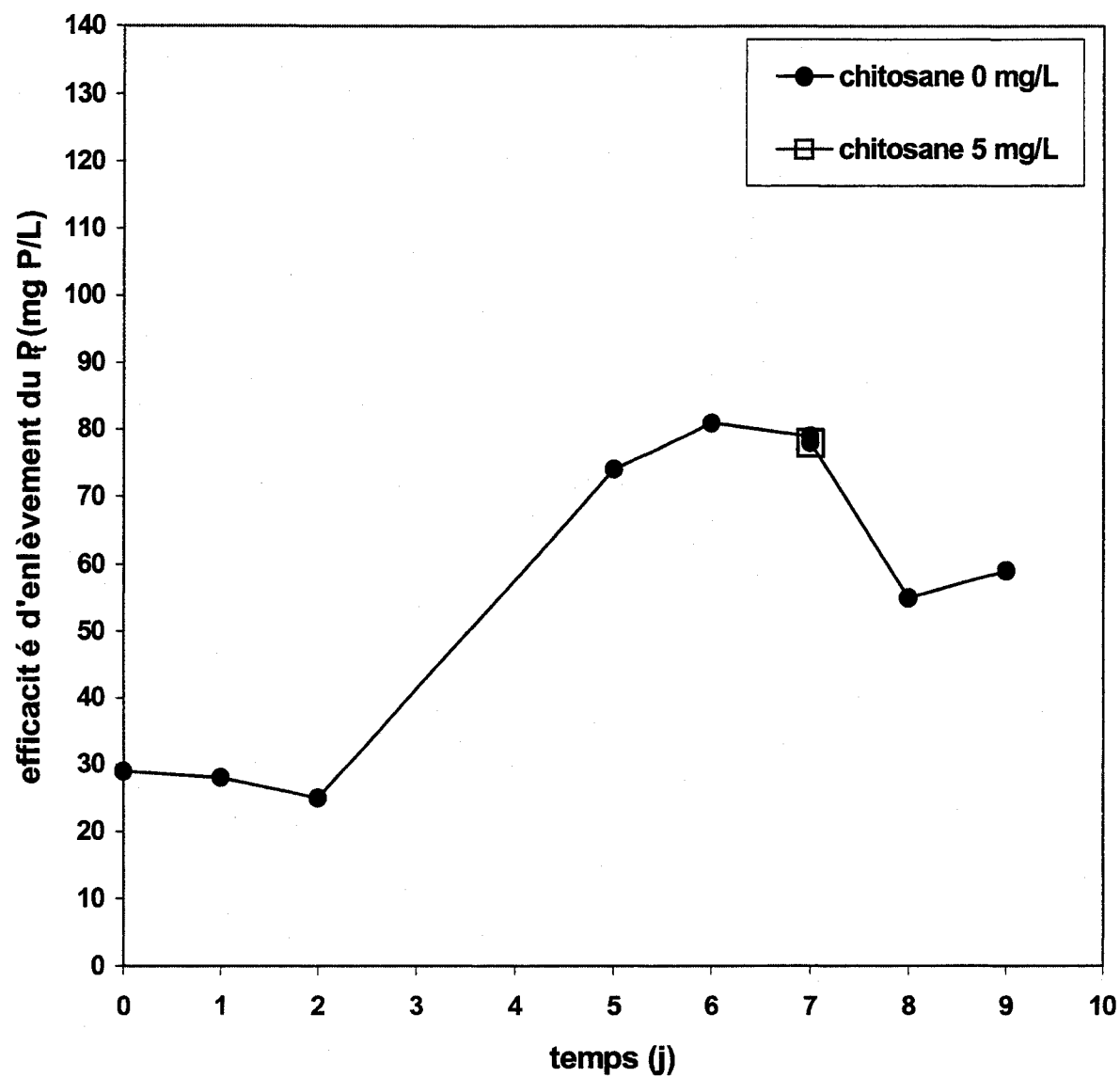


Figure 4.58 : Efficacité d'enlèvement du P_t dans le RBS pendant la série A.

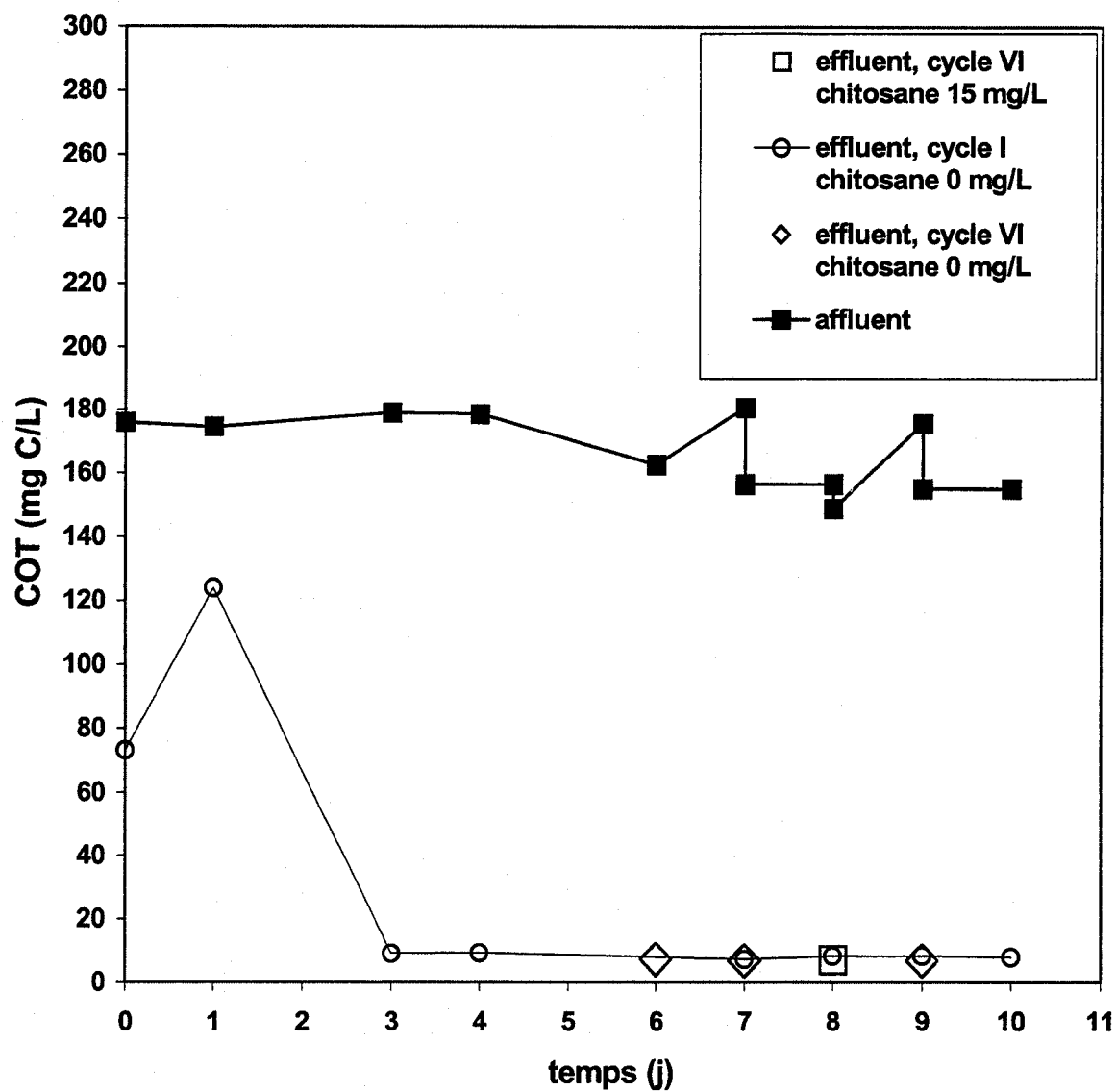


Figure 4.59 : Évolution journalière du COT dans l'affluent et l'effluent du RBS pendant la série B.

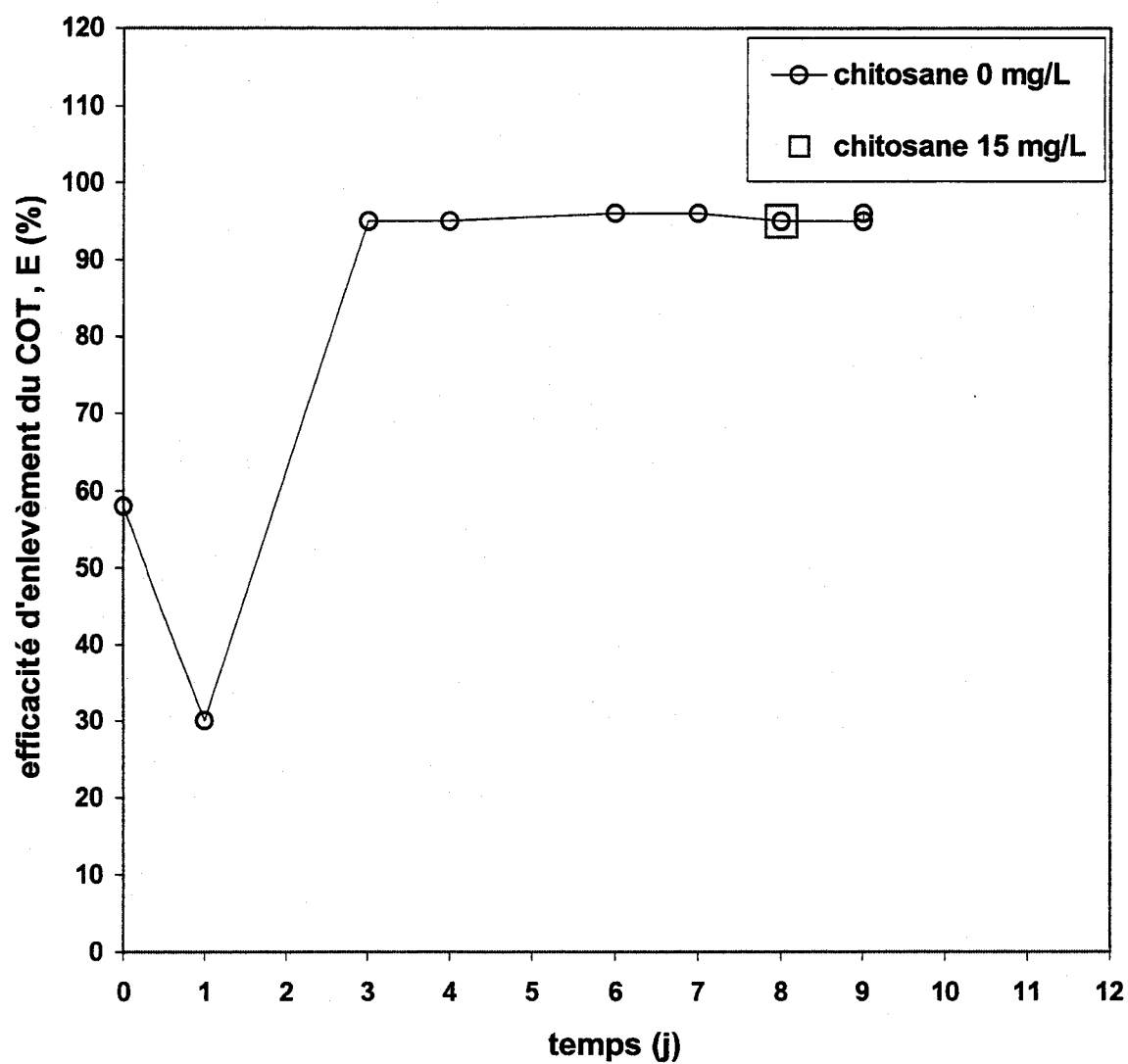


Figure 4.60 : Efficacité d'enlèvement du COT dans le RBS pendant la série B.

La Figure 4.61 donne un aperçu de l'évolution du COT au cours de la réaction lors de quatre jours différents. Les profils du COT enregistrés lors du jour 7 avant l'ajout du chitosane et du jour 9, après cet ajout, possèdent la même tendance. Ainsi, au cours des premiers 30 minutes après remplissage 77% du COT mesuré à la fin du remplissage est enlevé. Un plus faible enlèvement se réalise au cours des trente minutes suivantes. Ensuite, la reste de réaction n'apporte aucun enlèvement du COT et la concentration se stabilise à une valeur au-dessous de 9,0 mg C/L. Donc le temps d'enlèvement du COT est de l'ordre de 60 minutes. Les profils notés lors de deux autres jours de fonctionnement du réacteur montrent une chute un peu plus lente de la concentration après remplissage du réacteur, mais après une période de réaction d'une heure et demi pour le jour 8 et d'une heure et quinze minutes pour le jour 10, la concentration minimale au-dessous de 9 mg C/L est obtenue. À partir de ces résultats on peut constater que le chitosane n'affecte pas la biodégradation de la matière organique dans le RBS et que c'est un gradient de la concentration établie au cours du remplissage qui peut influencer d'une façon importante la vitesse de cette biodégradation. Ainsi, plus le gradient de la concentration au cours du remplissage est grand, plus rapidement la concentration du COT dans le surnageant de la liqueur mixte descend jusqu'à une valeur minimale.

c) MLSS et MVLSS

Le comportement de la biomasse dans le RBS est montré sur la Figure 4.62. Pendant les premiers cinq jours de fonctionnement du RBS la concentration de la MLSS dans la liqueur mixte augmente graduellement de 2966 à 4298 mg/L. Ensuite la concentration de la MLSS se stabilise. Le volume de boue soutiré quotidiennement est d'environ 1200 mL. Ainsi, deux jours avant l'ajout du chitosane on a maintenu une concentration de la MLSS plus élevée par rapport à celle de la série A. Elle a été égale à 4165 ± 3 mg/L lors du premier cycle de la journée. Le rapport MVLSS/MLSS a été de 83% et elle ne change pas lors des jours suivant l'ajout du chitosane. Une très faible chute de la biomasse est observée au cours de la journée 8. Ainsi, lors du cycle VI la concentration est plus faible que celle mesurée lors du premier cycle. Cette fois aussi, la perturbation a possiblement été provoquée par l'échantillonnage de la liqueur mixte. Lors des jours suivants la concentration se stabilise à nouveau à une valeur de 3692 mg/L, mesurée à la fin du premier cycle.

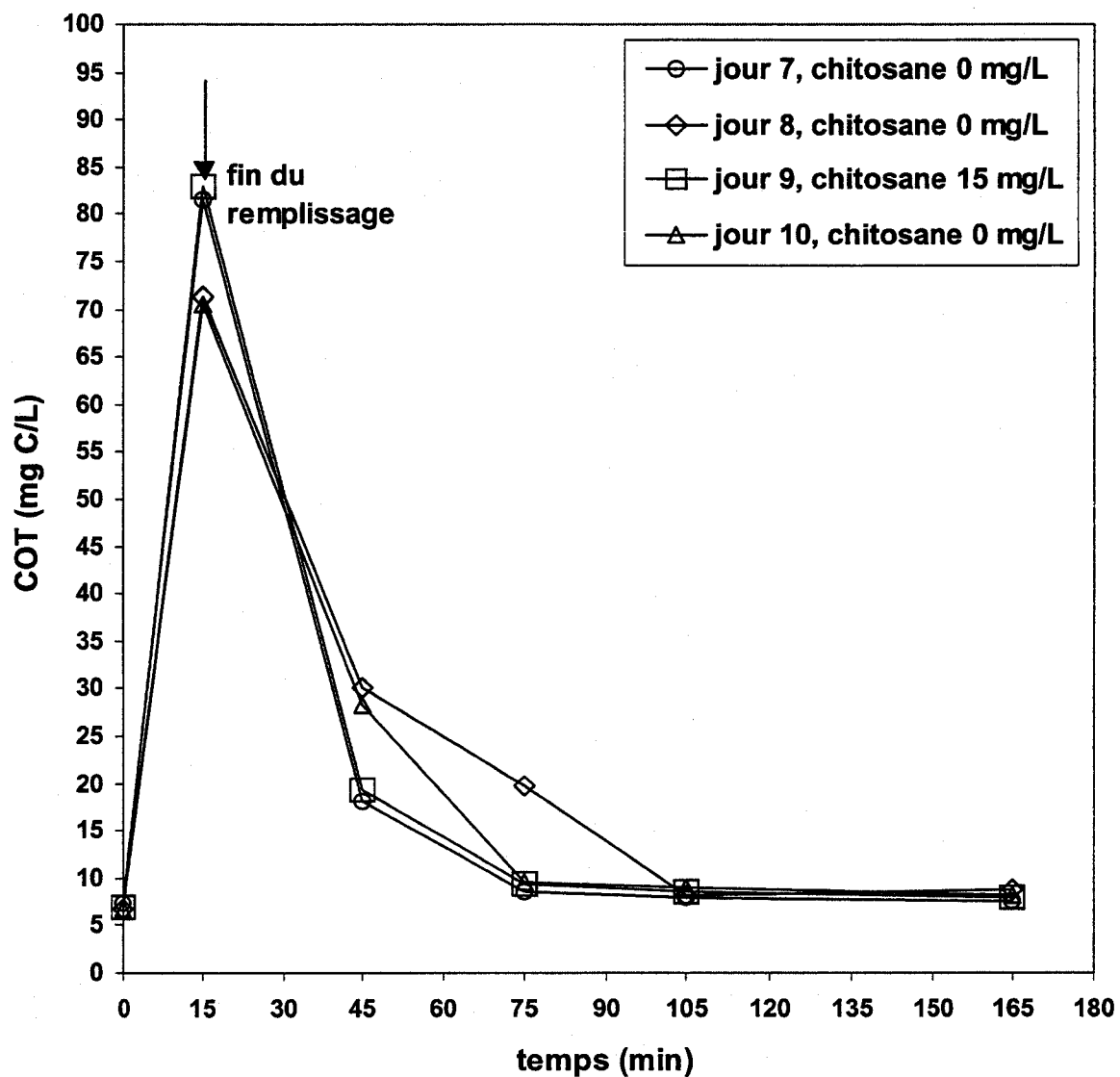


Figure 4.61 : Évolution du COT dans le surnageant de la liqueur mixte du RBS pendant la phase de réaction du premier cycle avant et après l'ajout du chitosane lors de la série B.

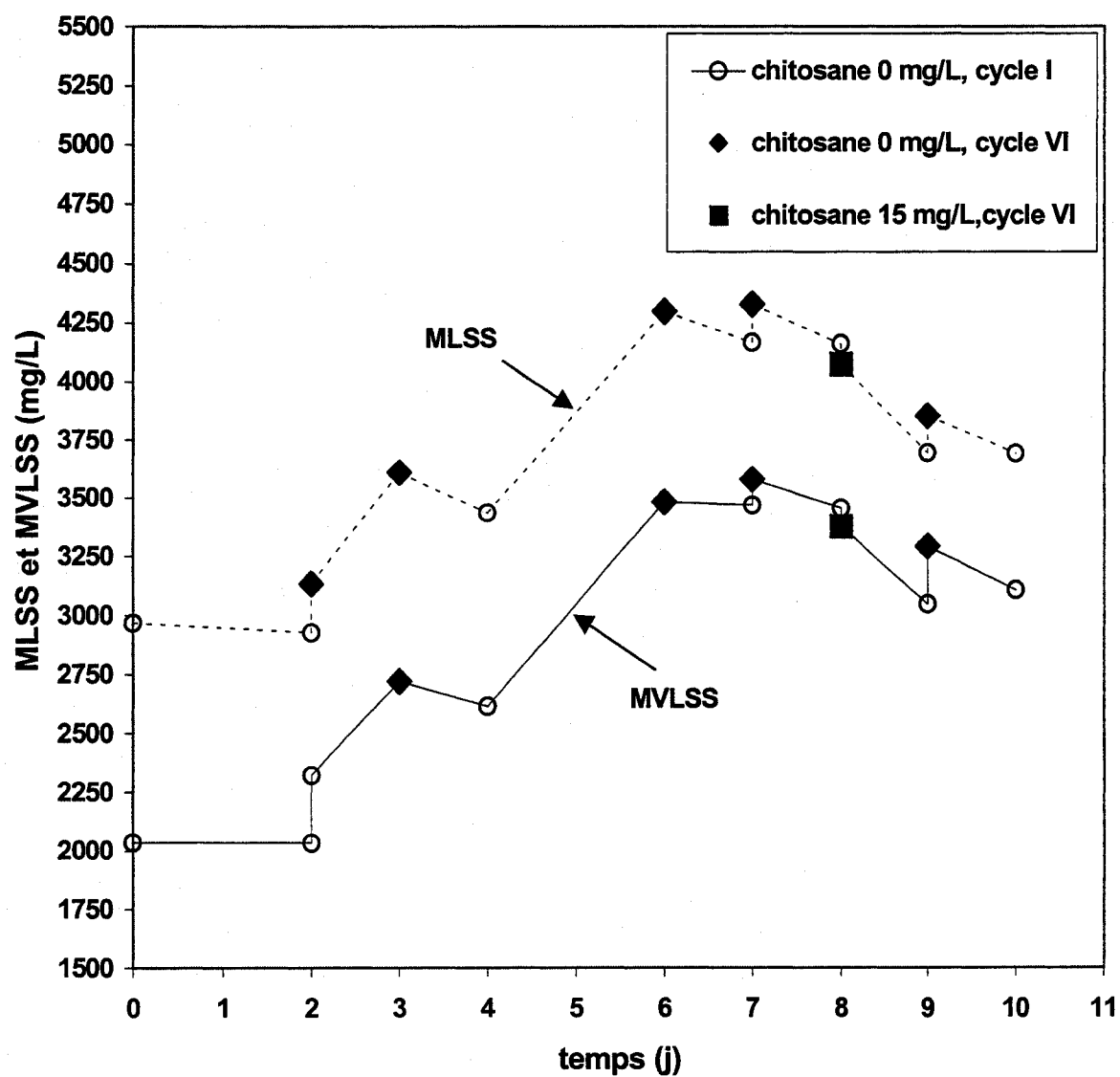


Figure 4.62 : Évolutions journalières de la MLSS et la MVLSS dans la liqueur mixte du RBS pendant la série B.

c) Azote

Les résultats concernant le comportement de NH_3 et du TKN dans le RBS lors de cette série nous manquent en raison d'un mauvais fonctionnement de l'appareil d'analyse Büchi. Mais, les mesures des nitrates dans l'effluent indiquent que lors de cette série une plus importante nitrification s'effectue (Figure 4.63).

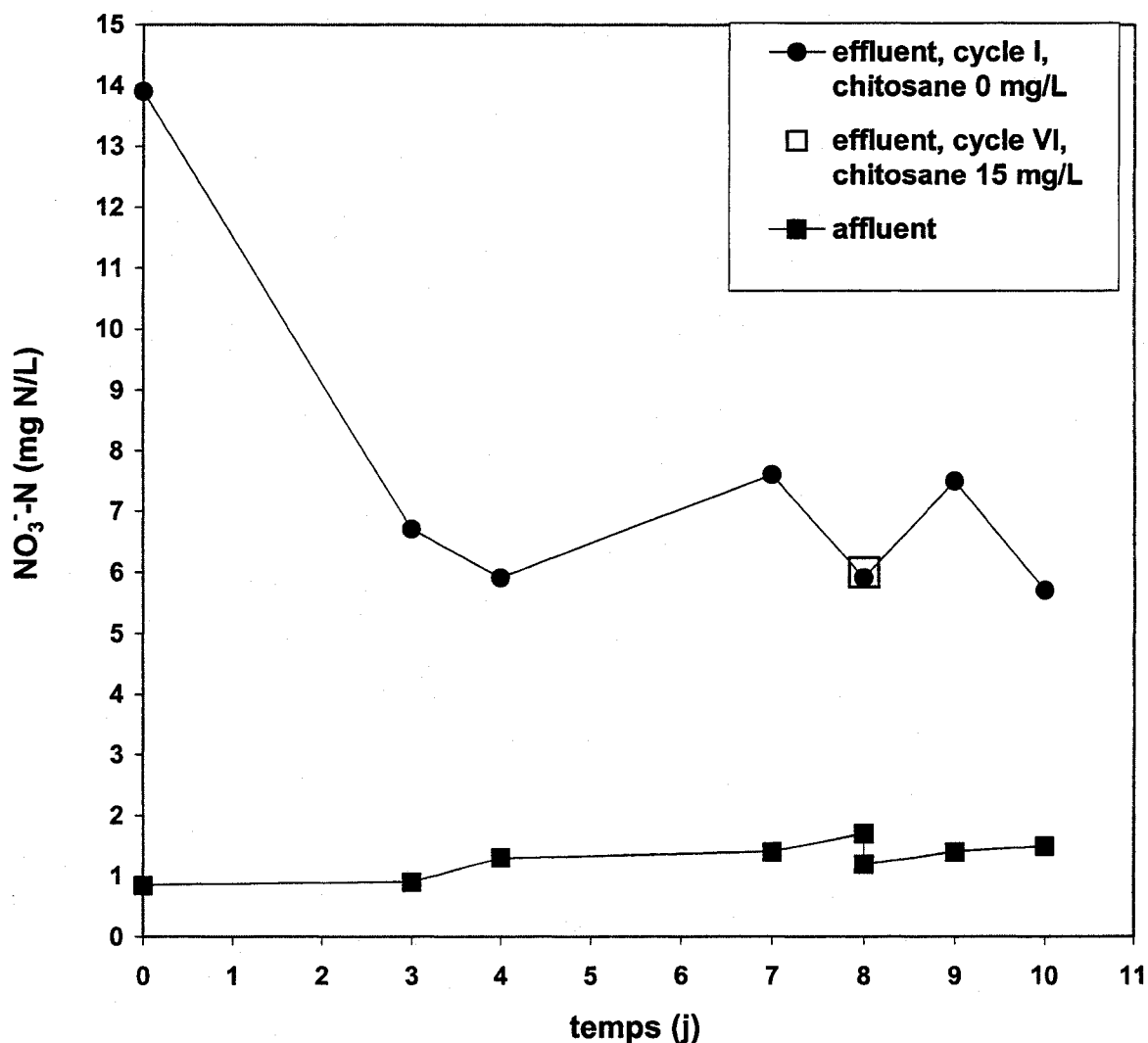


Figure 4.63 : L'évolution journalière des NO_3^- -N dans l'affluent et l'effluent du RBS pendant la série B.

La concentration des nitrates dans l'effluent a été de $7,55 \pm 0,05$ mg N/L lors du premier cycle et de $5,8 \pm 0,1$ mg N/L lors de ^u dernier cycle. Il semble que le chitosane n'affecte pas le degré de nitrification étant donné que la concentration des nitrates ne change pas après l'ajout du polymère.

d) Phosphore

La Figure 4.64 présente l'évolution journalière des orthophosphates dans le RBS tandis que la Figure 4.65 donne l'efficacité du RBS concernant leur enlèvement. Une très faible concentration des orthophosphates (au-dessous de 0,80 mg/L) dans l'effluent est obtenue à partir de la 7^{ème} journée de marche du RBS. L'efficacité du RBS égale à 91%. Après l'ajout du chitosane la concentration dans l'effluent monte légèrement et le RBS possède une efficacité sous les 90%.

La Figure 4.66 illustre le comportement des orthophosphates au cours de la réaction avant et après l'ajout du chitosane. Les profils des PO_4^{3-} sont semblables sauf que celui obtenu avant l'addition du chitosane est plus bas par rapport à celui enregistré après cette addition en raison d'une concentration plus faible au début du cycle.

La concentration du P_t au cours de la série B diminue avec le temps pour atteindre une valeur de $0,43 \pm 0,11$ mg P/L avant l'ajout du chitosane (Figure 4.67). L'enlèvement du P_t par la biomasse atteint 88% (Figure 4.68). L'effet du chitosane sur l'évolution du P_t dans l'effluent est similaire à celui observé lors de la première série, soit après l'ajout du chitosane on remarque une augmentation de la concentration dans l'effluent. La seule différence est une faible augmentation du P_t dans l'effluent, qui se produit tout de suite après l'ajout du chitosane (passant de 0,32 à 0,58 mg P/L). Cette observation n'est pas surprenante étant donné que la MES dans l'effluent a aussi faiblement augmenté lors du cycle quand l'introduction du chitosane dans la liqueur mixte a été réalisée (Figure 4.8). Lors des deux jours suivants la concentration augmente encore à $0,82 \pm 0,1$ mg P/L. La Figure 4.68 montre une légère diminution du pourcentage de l'abattement du P_t de la part de la biomasse après l'addition du polymère. Ce phénomène est inexpliqué.

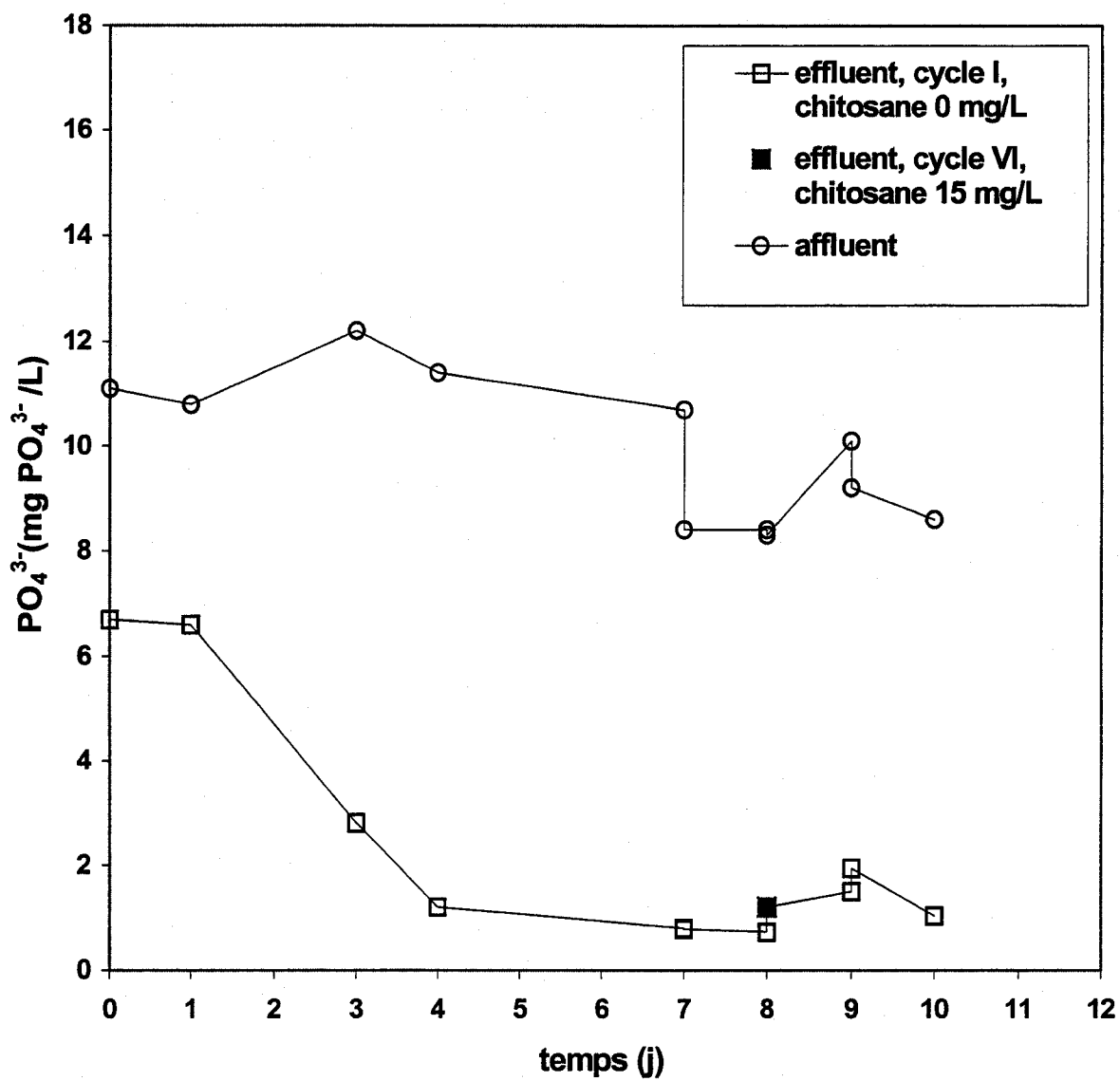


Figure 4.64 : Évolution journalière des PO_4^{3-} dans l'affluent et l'effluent du RBS pendant la série B.

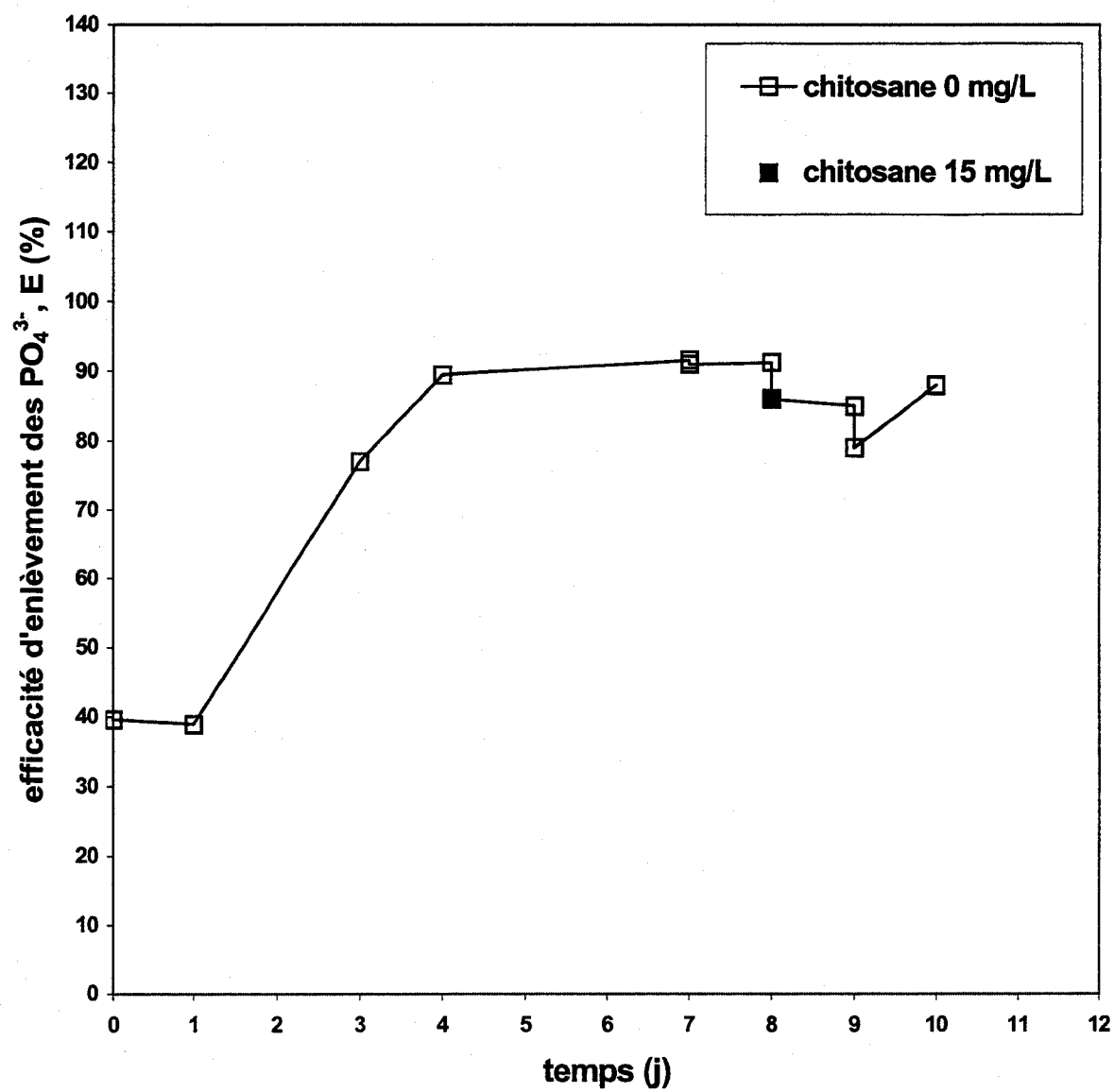


Figure 4.65 : Efficacité d'enlèvement des PO_4^{3-} dans le RBS pendant la série B.

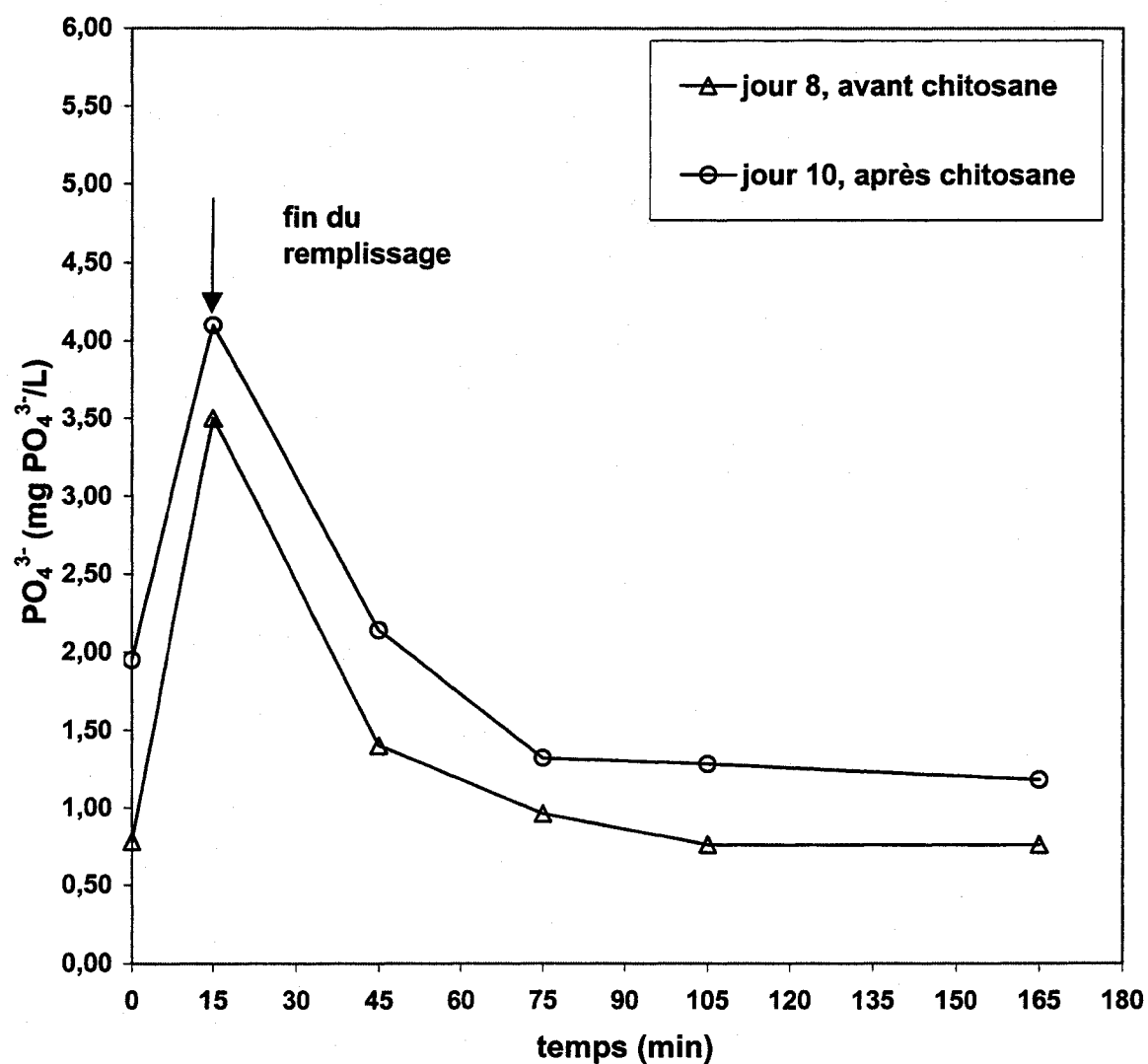


Figure 4.66 : Évolution des PO_4^{3-} dans le surnageant de la liqueur mixte du RBS pendant la phase de réaction du premier cycle avant et après l'ajout du chitosane lors de la série B.

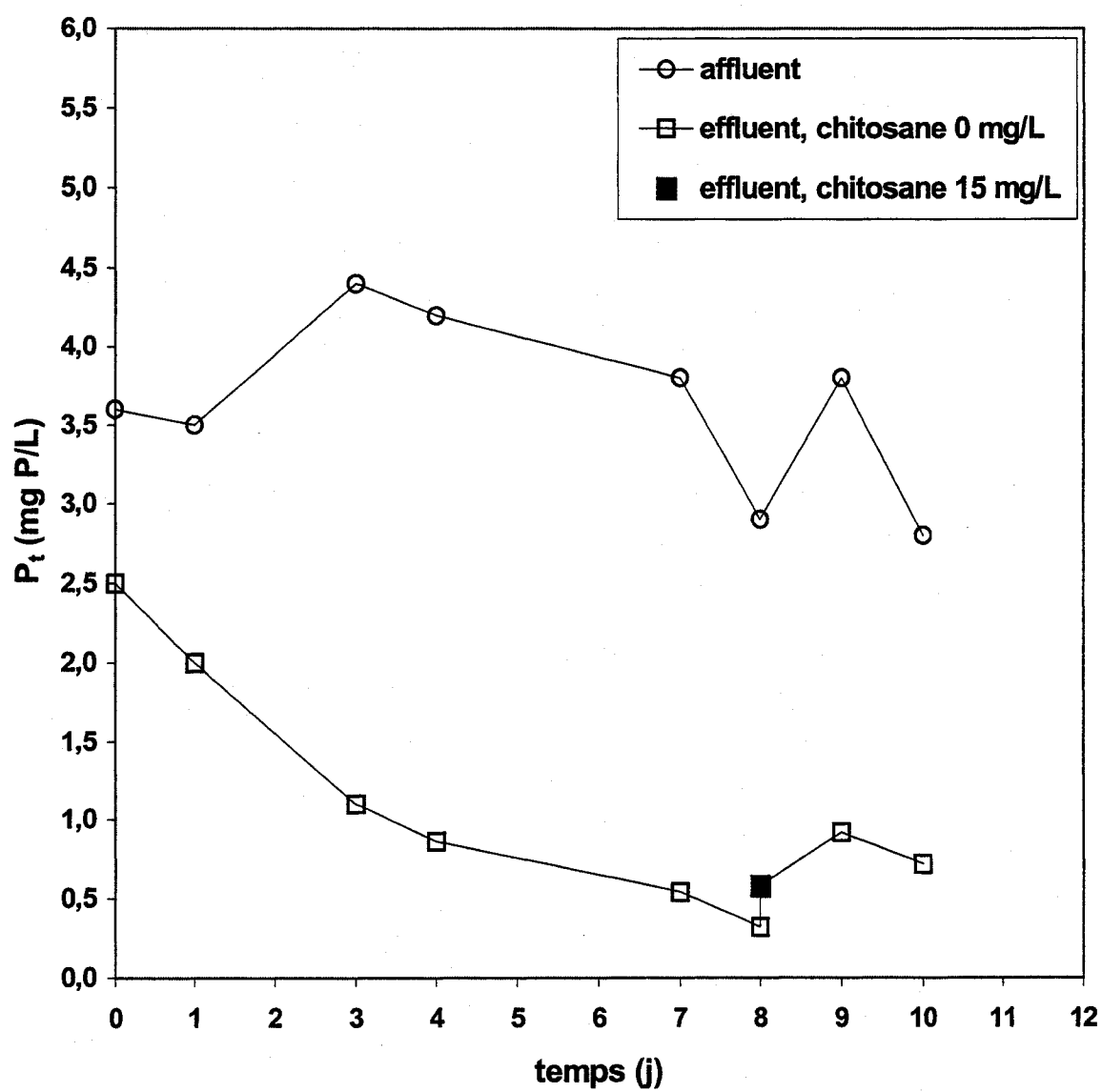


Figure 4.67 : Évolution journalière du P_t dans l'affluent et l'effluent du RBS pendant la série B.

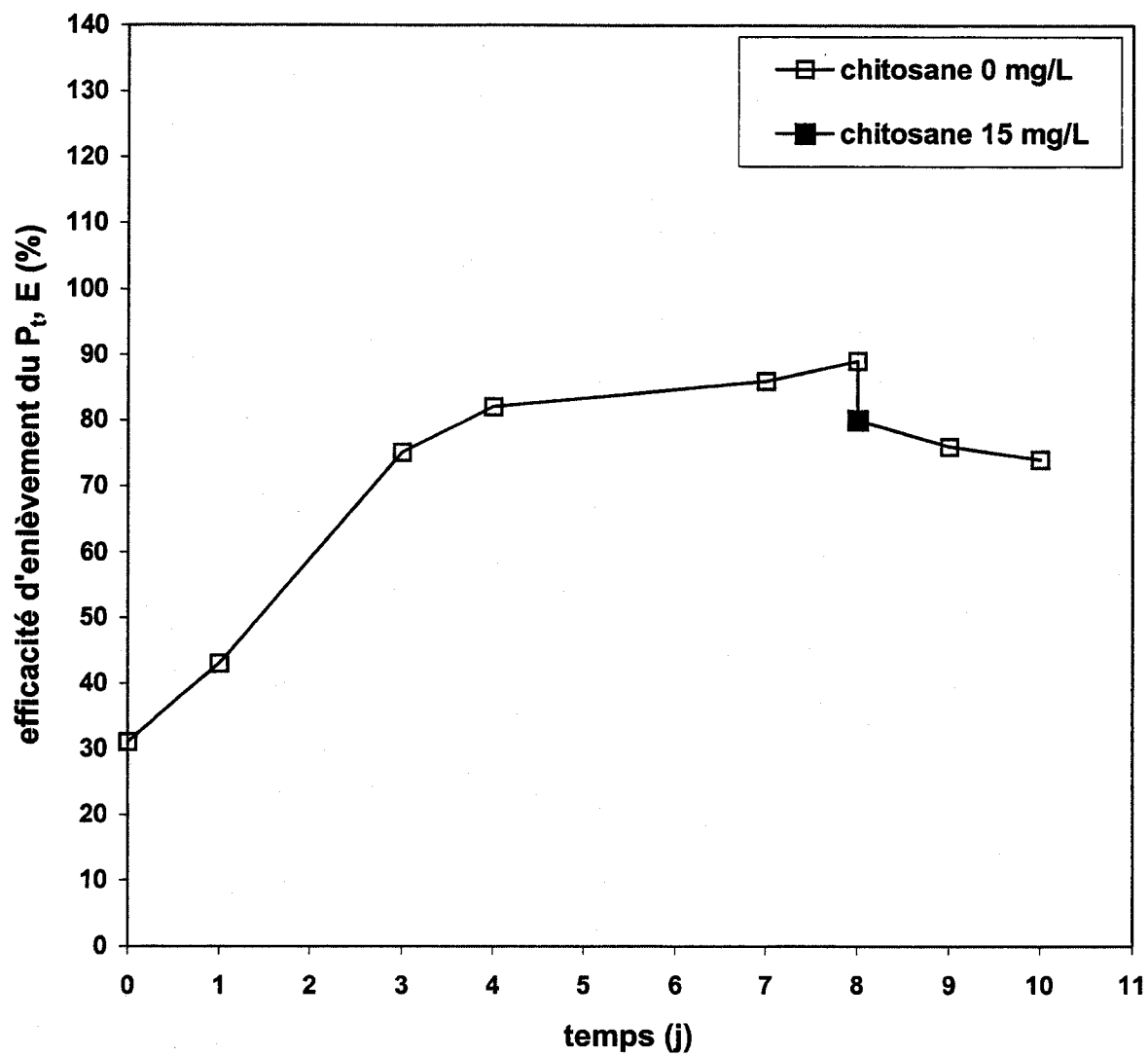


Figure 4.68: Efficacité d'enlèvement du P_t dans le RBS pendant la série B.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Les résultats montrent que le polymère naturel, chitosane possède un bon potentiel à améliorer la décantation de la boue activée dans un RBS. L'addition du chitosane à la fin de la phase de réaction augmente la VDZ et réduit l'IVB. Le chitosane permet de réduire significativement le temps de la décantation et par la suite le temps global alloué à un cycle. De plus les propriétés de compactions sont améliorées, ce qui résulte en une boue dense. Cette amélioration est très importante étant donné que le coût du traitement de boue peut représenter de 50 à 67% du coût global des stations à boue activée.

La capacité du chitosane à influencer la décantation de la boue activée est différente pour les différents paramètres de décantation. Ainsi, le changement relatif de la VDZ augmente significativement en augmentant la concentration du chitosane de 5 à 15 mg/L. D'autre part, le changement relatif de l'IVB et V_{45} n'est pas influencé par cette augmentation de la quantité du polymère ajouté.

L'amélioration apportée sur la décantation de la boue activée dans le RBS peut s'expliquer par l'interaction du chitosane avec les PEC présentés sur la surface bactérienne. On suppose que le chitosane réagit par les liaisons hydrogènes et l'interaction électrostatique avec les polymères extracellulaires, ce qui améliore le pontage biopolymérique. Par la suite de gros floccs sont formés et ils décantent rapidement.

Pourtant les effets bénéfiques du chitosane sont temporaires et ils disparaissent au cours des cycles suivant l'ajout du polymère dans le RBS. On a postulé trois explications possibles pour comprendre ce caractère temporaire de l'efficacité du chitosane afin d'améliorer les propriétés de décantation. Premièrement, l'aération et le mélange au cours des cycles suivant l'ajout du chitosane peuvent détruire les liaisons hydrogènes formées entre le chitosane et les PEC. Deuxièmement, la destruction de la chaîne de chitosane est possible par l'oxygène et le cisaillement. Enfin, le phénomène de la chélation des ions métalliques par le chitosane peut rendre la structure du floc plus fragile et ainsi, réduire l'efficacité du chitosane.

Le phénomène de la chélation peut aussi être une des raisons de l'augmentation des MES dans l'effluent du RBS qui est observée lors des cycles après l'ajout du chitosane dans le réacteur. Étant donné que la structure du floc deviendra plus fragile les petits floccs se détachent des gros, provoquant une augmentation des MES. La dispersion du floc peut être aussi provoquée par l'aération intensive lors de la phase de réaction.

Les résultats obtenus lors des essais de décantation dans des cylindres gradués suggèrent que l'efficacité du chitosane concernant la décantation de la boue activée puisse dépendre des plusieurs facteurs parmi lesquels l'âge de la boue serait le principal. L'âge de boue est un facteur primordial qui influence la quantité des PEC dans la boue activée. On suppose que plus l'âge de la boue est élevé plus le chitosane sera efficace en raison de la présence d'une plus grande quantité de PEC qui peuvent réagir avec ce polymère ajouté. Cette hypothèse exige une confirmation lors de recherches futures.

Il semble que le chitosane en faible concentration au-dessous de 4 mg/L n'affecte pas significativement la décantation de la boue activée. Mais en concentration supérieure ses effets positifs sont très importants et beaucoup plus prononcés sur la zone de la décantation ralentie que sur la zone de compression. Les résultats obtenus suggèrent aussi la possibilité de la saturation de la boue activée par le chitosane en concentration au-dessus de 10 mg/L.

Cette étude montre aussi que le chitosane peut être utilisé efficacement dans le cas de mauvaise décantation causée par le gonflement de la boue. Dans ce cas l'ajout du chitosane présente une solution efficace et rapide qui empêcherait la perte de la biomasse provoquée par cette perturbation. Le dosage optimal du chitosane dépend de l'IVB initial et de la concentration initiale de MLSS. Lors nos essais le chitosane a probablement réagi avec le PEC sécrété de la part des colonies *zooglée*.

La concentration de chitosane de 2 mg/L apporte une très faible amélioration des propriétés de décantation de la boue activée en état de gonflement. Par la suite en augmentant la concentration de chitosane, la boue activée décante plus vite ce qui se manifeste par une augmentation de la vitesse de décantation et une diminution de l'indice volumique de la boue. Pour les

concentrations supérieures à 10 mg/L l'amélioration significative de l'ITV_B n'est plus observée, tandis que l'amélioration sur la vitesse de décantation est toujours remarquée jusqu'à la concentration de 20 mg/L.

En ce qui concerne les impacts du chitosane sur la biodégradation dans le RBS il paraît que le chitosane en concentration de 5 et 15 mg/L n'affecte pas l'enlèvement de la matière organique carbonée. D'un autre côté la concentration du phosphore total et des orthophosphates dans l'effluent du RBS augmente faiblement lors des cycles suivant l'addition du chitosane. Ceci a été montré lors des deux séries d'expériences dans le RBS. Les résultats de la série d'expérience A révèlent la possibilité d'une faible augmentation de l'azote organique dans l'effluent. Malheureusement, on n'a pu retrouver cette observation lors de la deuxième série. L'augmentation du P_t et de l'azote organique dans l'effluent peut s'expliquer par une faible augmentation des MES dans l'effluent, mais le phénomène d'une faible augmentation des orthophosphates demeure inexpliqué.

Donc, la concentration des MES est un facteur crucial qui peuvent influencer l'efficacité d'un RBS opérant à l'aide du chitosane. Pour cette raison on doit établir la concentration du chitosane et les conditions de mélange qui ne produisent pas une augmentation importante des MES dans l'effluent.

Afin d'éliminer la possibilité d'augmentation des MES dans l'effluent et le caractère temporaire des effets du chitosane il semble nécessaire d'entreprendre les recherches futures qui doivent étudier:

- le mécanisme de la floculation de la boue activée à l'aide du chitosane,
- les conditions optimales d'opération, tels que l'intensité et la durée du mélange du chitosane, et la concentration permise d'oxygène dans la liqueur mixte,
- l'impact de la taille des bulles d'air sur la formation du floc lors l'ajout du chitosane,
- l'effet du chitosane sur la décantation de la boue activée sous les conditions de dosage régulier au cours de chaque cycle, et
- le dosage optimal du chitosane en fonction de l'âge de la boue.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Albertson O.E. (1992) *Clarifier Design*. Dans: Design and Retrofit of Wastewater Treatment Plants for Biological Nutrient Removal, C.W. Randall, J.L. Barnard et H.D. Stensel, eds., Lancaster, PA: Technomic Publishing Co., Inc., p. 185-254.
- Andreadakis, A.D. (1993) *Physical and Chemical Properties of Activated Sludge Floc*, Water Research, vol. 27, n° 12, p. 1707-1714.
- APHA, AWWA, et WEF (1995) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, American Public Health Association, 18th edition, Washington, D.C.
- Arora, M.L., Barth, E.F., et Umphers, M.B. (1985) *Technology Evaluation of Sequencing Batch Reactors*, Journal Water Pollution Control Federation, vol. 57, n° 8, p. 867-875.
- Baran, A.A. (1987) *Flocculation of Cellular Suspensions by Polyelectrolytes*, Colloids and Surfaces Adsorption, Stabilization and Flow, Proceeding of an International Conference, Veldhoven, September 7-9, vol. 31, p.259-264.
- Benefield, L.D. et Randall, C.W. (1980) *Biological Process Design for Wastewater Treatment*, Teleprint Publishing, Charlottesville, Virginia.
- Bidault, A., Clauss, F., Helaine, D. et Balavoine, C. (1997) *Floc Agglomeration and Structuration by a Specific Talc Mineral Composition*, Water Science and Technology, vol. 36, n° 4, p. 57-68.
- Bisogni, J.J., Jr., et Lawrence, A.W. (1971) *Relationship Between Biological Solids Retention Time and Settling Characteristics of Activated Sludge*, Water Research, vol. 5, n° 9, p. 753-763.
- Borgatti, D.R. (1981) *Controlling Filamentous Growth in Sequencing Batch Reactor by Altering Process Operation*, Thèse de doctorat, Département de génie civil, Université de Notre Dame, Notre Dame, Indiana.
- Bough, W.A., Wu, A.C.M., Campbell, T.E., Holmes, M.R. et Perkins, B.E. (1978) *Influence of Manufacturing Variables on the Characteristics and Effectiveness of Chitosan Products. II. Coagulation of Activated Sludge Suspensions*, Biotechnology and Bioengineering, vol. 20, n° 12, p. 1945-1955.
- Busch, P., et Stumm, W. (1968) *Chemical Interaction in the Agregation of Bacteria, Bioflocculation in Waste Treatment*, Environmental Science and Technology, vol. 2, n° 1, p. 49-53.
- Bye, C.M. et Dold, P.L. (1998) *Sludge Volume Index Settleability Measures: Effect of Solids Characteristics and Test Parameters*. Water Environment Research, vol. 70, n° 1, p. 87-93.

Cantet, J., Paul E. et Clauss, F. (1996) *Upgrading Performance of An Activated Sludge Process Through Addition of Talqueous Powder*, Water Science and Technology, vol. 34, n° 5-6, p. 75-83.

Capdeville, B. (1992, 1993, 1994) *Use of a Talc Powder In Waste Water Treatment Process*, Graduation Wo, Contrats No. 941.1 à 941.6 avec INSA Toulouse, France.

Çetin F.D., et Sürücü G. (1990) *Effect of Temperature and pH on the Settleability of Activated Sludge Flocs*. Water Science and Technology, vol. 22, n° 9, p. 249-254.

Chambers, B. (1982) *Effect of Longitudinal Mixing and Anoxic Zones on Settleability of Activated Sludge*. Dans: *Bulking of Activated Sludge – Preventative and Remedial Methods*, Chambers B. et Tomlinson, E.J., eds. Chichester, Ellis Horwood Ltd, p. 166-183.

Chapman, D.T. (1988) *La conception d'installation d'épuration par boues activées pour une meilleure élimination des matières en suspension*. Dans : *Quoi de neuf dans les techniques de traitement des eaux usées*, Environnement Canada et l'Association canadienne des eaux potables et usées (ACEPU), p. 101-113.

Chiesa, S.C., et Irvine, R.L. (1985) *Growth and Control of Filamentous Microbes in Activated Sludge: An Integrated Hypothesis*, Water Research, vol. 19, n° 4, p. 471-479.

Chiesa, S.C., Irvine, R.L., Manning, Jr. J.F. (1985) *Feast/famine Growth Environments and Activated Sludge Population Selection*, Biotechnology and Bioengineering, vol. 27, n° 5, p. 562-568.

Chudoba, J. (1985) *Control of Activated Sludge Filamentous Bulking – VI, Formulation of Basic Principles*, Water Research, vol. 19, n° 8, p. 1017-1022.

Chudoba, J. (1989) *Activated Sludge – Bulking Control*. Dans: *Encyclopedia of Environmental Control Technology*, vol. 3, Wastewater Treatment Technology P.N. Cheremisinoff, ed. Houston, TX: Gulf Publishing Company, p. 171-202.

Churchill, R.J., et Rybacky, R.L. (1977) *Polymer Addition Improves Wastewater Treatment Process*, Water and Sewage Works 77, n° 4, p. R10-R20.

Daigger, G.T., et Roper, R.E. (1985) *The Relationship between SVI and Activated Sludge Settling Characteristics*, Journal Water Pollution Control Federation, vol. 57, n°8, p. 859-866.

Demel, I., et Möbius, C.H. (1988) *Improving the Settling of Activated Sludge by Chemical Additives*, Water Science and Technology, vol. 20, n° 1, p. 283-286.

Dennis, R.W., et Irvine, R.L. (1979) *Effect of Fill:React Ratio on Sequencing Batch Biological Reactors*, Journal Water Pollution Control Federation, vol. 51, n° 2, p. 255-263.

- Dick, R.I. et Ewing, B.B. (1967) *Evaluation of Activated Sludge Thickening Theories*, Journal of Sanitary Engineering Division, vol. 93, n° SA4, p. 9-29.
- Dick, R.I. et Vesilind, P.A. (1969) *The Sludge Volume Index – What is It*, Journal Water Pollution Control Federation, vol. 41, n°7, p. 1285-1291.
- Dick, R.I. (1970) *Role of Activated Sludge Final Settling Tanks*, Journal of Sanitary Engineering Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, vol. 96, n° SA2, p. 423-430.
- Domard, A., Rinaudo, M. et Terrassin, C. (1989) *Adsorption of Chitosan and a Quaternized on Kaolin*, Journal Applied Polymer Science, vol. 38, n° 10, p. 1799-1806.
- Echeverria, E., Seco, A. et Ferrer, J. (1992) *Study of The Factors Affecting Activated Sludge Settling in Domestic Wastewater Treatment Plants*, Water Science and Technology, vol. 25, n° 4-5, p. 273-279.
- Edeline, F. (1993) *L'épuration biologique des eaux*, Cebedoc éditeur, Paris.
- Eikelboom, D.H. et Buijsen, H.J.J. (1981) *Microscopic Sludge Investigation Manual, Report A49a*. Delft, NL: IMG-TNO.
- Ekama, G.A. et Marais, G.v.R. (1986) *Sludge Settleability and Secondary Settling Tank Design Procedure*, Water Pollution Control (G.B.), vol. 87, n° 1, p. 101-105.
- El-Mamouni, R., Leduc, R. et Guiot, S.R. (1998) *Influence of Synthetic and Natural Polymers on the Anaerobic Granulation Process*, Water Science and Technology, vol. 38, n° 8-9, p. 341-347.
- Eriksson L.B. et Härdin A-M. (1984) *Settling Properties of Activated Sludge Related to Floc Structure*, Water Science and Technology, vol. 16, n° 10-11, p. 55-68.
- Eriksson L.B. et Härdin A-M. (1987) *Flocculation of E. coli With Cationic Polyelectrolytes*. Dans: Flocculation in Biotechnology Separation Systems, Attia, Y. A. ed., Amsterdam: Elsevier, p. 441-455.
- Eriksson L.B. et Alm B. (1991) *Study of Flocculation Mechanisms by Observing Effects of Complexing Agent on Activated Sludge Properties*, Water Science and Technology, vol. 24, n° 7, p. 21-28.
- Forster C.F. (1971) *Activated Sludge Surfaces in Relation to The Sludge Volume Index*, Water Research, vol. 5, n° 7, 861-870.
- Forster C.F., et Lewin D.C. (1972) *Polymer Interactions at Activated Sludge Surfaces*, Effluent Water Treatment Journal, vol. 12, n° 10, p. 520-525.

- Forster C.F., et Dallas-Newton J. (1980) *Activated Sludge Settlement – Some Suppositions and Suggestions*, Water Pollution Control, vol. 79, n° 3, p. 338-351.
- Forster C.F. (1985a) *Factors Involved in the Settlement of Activated Sludge. I Nutrient and Surface Polymers*, Water Research, vol. 19, n° 10, p. 1254-1264.
- Forster C.F. (1985b) *Factors Involved in the Settlement of Activated Sludge. II The Binding of Polyvalent Metals*. Water Research, vol. 19, n° 10, p. 1265-1271.
- Ganczarczyk, J.J. (1983) *Activated Sludge Process : Theory and Practice*, Marcel Dekker, Inc., New York.
- Gray, N.F. (1990) *Activated Sludge: Theory and Practice*, Oxford University Press, New York.
- Gray, N.F. (1992) *Biology of Wastewater Treatment*, Oxford University Press, New York.
- HACH (1992) *Water Analysis Handbook*, 2th edition, Loveland, USA.
- Harris, R.H., et Mitchell R. (1975) *Inhibition of the Flocculation of Bacteria by Biopolymers*, Water Research, vol. 9, n° 11, p. 993-999.
- Heinke, G.W., Tay, A.J.-H., et Qazi, M.A. (1980) *Effects of Chemical Addition on the Performance of Settling Tanks*, Journal Water Pollution Control Federation, vol. 52, n° 12, p. 2946-2954.
- Higgins M.J. et Novak J.T. (1995) *The Effect of Cations on the Settling and Dewatering of Activated Sludges: Laboratory Results*. Water Environment Research, vol. 69, n° 2, p. 215-224.
- Hoepker, E.C. et Schroeder, E.D. (1979) *The Effect of Loading Rate on Batch-Activated Sludge Effluent Quality*, Journal Water Pollution Control Federation, vol. 51, n° 2, p 264-273.
- Hughes, J., Ramsden, D.K. et Symes, K.C. (1990) *The Flocculation of Bacteria Using Cationic Synthetic Flocculent and Chitosan*, Biotechnology Techniques, vol. 4, n° 1, p. 55-60.
- Hughes, J., Ramsden, D.K. et Boulby, J.M. (1994) *The Role of Cellulosics in Chitosan Flocculation of Zymomonas mobilis*, Biotechnology Techniques, vol. 8, n° 8, p. 541-546.
- Irvine, R.L. (1977) *Application of Sequencing Batch Reactors for Treatment of Municipal and Industrial Wastewaters*, 1st Annual Report to National Science Foundation, University Notre Dame, Indiana.
- Iyo, T., Yoshino, T. et Ohno, S. (1992) *Suppressive Effects on Filamentous Bulking By Addition of Corn Cob Flour and Divalent Metal Ions*, Water Science and Technology, vol. 26, n° 9-11, p. 2493-2496.

Jenkins, D., Richard, M.G. et Daigger, G.T.. (1986) *Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming.*, Pretoria, SA: Water Research Commission.

Jorand, F., Guicherd, P., Urbain, V., Manem, J. et Block, J.C. (1994) *Hydrophobicity of Activated Sludge Flocs and Laboratory-Grown Bacteria*, Water Science and Technology, vol. 30, n° 11, p. 211-218.

Kawamura, S. (1991) *Effectiveness of Natural Polyelectrolytes in Water Treatment*, Research and Technology, Journal American Water Works Association, vol. 83, n° 10, p. 88-92.

Lau A.O., Strom P. F. et Jenkins D. (1984) *The Competitive Growth of Floc-forming and Filamentous bacteria: A Model for Activated Sludge Bulking*, Journal Water Pollution Control Federation, vol. 56, n° 1, p. 52-61.

Lawrence, A.W. et McCarty, P.L. (1970) *Unified Basis for Biological Treatment Design and Operation*, Journal Sanitary Engineering Division, Proceeding of American Society of Civil Engineering, vol. 96, n° SA3, p. 757-762.

Lee, S.E., Koopman, B., Bode, H., et Jenkins, D. (1983) *Evaluation of Alternative Sludge Settleability Indices*, Water Research, vol. 17, n° 10, p. 1421-1426.

Li, D.H. et Ganczarczyk, J.J. (1990) *Structure of Activated Sludge Flocs*, Biotechnology and Bioengineering, vol. 35, n° 1, p. 57-65.

Li, D.H. et Ganczarczyk, J.J. (1993) *Factors Affecting Dispersion of Activated Sludge Flocs*, Water Environment Research, vol. 65, n° 3, p. 258-263.

Li, Q., Dunn, E.T., Grandmaison, E.W., et Goosen, M.F.A. (1992) *Application and Properties of Chitosan*, Journal of Bioactive and Compatible Polymers, vol. 7, n° 2, p. 370-397.

Magara, Y., et Nambu, S. (1976) *Biochemical and Physical Properties of an Activated Sludge on Settling Characteristics*, Water Research, vol. 10, n° 1, p. 71-77.

Matsumoto, K., Suganuma, A. et Kunui, D. (1980) *The Effect of Cationic Polymer on the Settling Characteristics of Activated Sludge*, Powder Technology, vol. 25, n° 1, p. 1-10.

McGregor, W.C. et Finn, R.K. (1969) *Factors Affecting the Flocculation of Bacteria By Chemical Additives*, Biotechnology and Bioengineering, vol. XI, p. 127-138.

Metcalf and Eddy Inc. (1979) *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*, McGraw-Hill Book Company, New York.

Muzzarelli, R.A.A. (1973) *Natural Chelating Polymers*, Pergamon Press, Toronto.

Muzzarelli, R.A.A. (1977) *Chitine*, Oxford, 1^e édition, Pergamon Press.

Oakdale Engineering (1999) DataFit version 6.1.10, Oakdale, USA.

Onsoyen, E., et Skaugrud, O. (1990) *Metal Recovery Using Chitosan*, Journal Chemical Technology and Biotechnology, vol. 49, n° 4, p. 395-404.

Palm J.C., Jenkins, D., et Parker, D.S. (1980) *Relationship between Organic Loading, Dissolved Oxygen Concentration and Sludge Settleability in the Completely-Mixed Activated Sludge Process*, Journal Water Pollution Control Federation, vol. 52, n° 10, p. 2484-2506.

Pavoni J.L., Tenney, M.W. et Echelberger, W.F.Jr (1972) *Bacterial Exocellular Polymers and Biological Flocculation*, Journal Water Pollution Control Federation, vol. 44, n° 3, p. 414-431.

Pipes, W.O., (1979) *Bulking, Deflocculation, and Pinpoint Floc*, Journal Water Pollution Control Federation, vol. 51, n° 1, p. 62-70.

Poduska, R.A., Hicks, J.E. et Howard, J.W. (1979) *Polymer Addition for Effluent Quality Control*, Journal Water Pollution Control Federation, vol. 51, n° 11, p. 2615-2625.

Quasim, S.R. (1999) *Wastewater Treatment Plants, Planing Design and Operation*, Technomic Publishing Co. Inc., Lancaster, Basel.

Rasmussen, M.R., Larsen, T. et Clauss, F. (1996) *Improving Settling Dynamics of Activated Sludge by Adding Fine Talc Powder*, Water Science and Technology, vol. 34, n° 5-6, p. 11-18

Rachwal, A.J., Johnstone, D.W.M., Hanbury, M.J. et Critchard, D.J. (1982) *The Application of Settleability Tests for Control of Activated-Sludge Plants*. Dans: *Bulking of Activated Sludge: Preventative and Remedial Methods*, B. Chambers et E.J. Tomlinson. Eds., Chichester, UK: Ellis, Harwood Limited, p. 224-242.

Rensink, J.H. (1974) *New Approach to Preventing Bulking Sludge*, Journal Water Pollution Control Federation, vol. 46, n° 8, p. 1888-1894.

Sandford, P.A. (1989) *Chitosan: Commercial Uses and Potential application*. Dans : *Chitin and Chitosane : Sources, Chemistry, Biochemistry, Physical Properties and Applications*. Skjeak-Braek G., Anthonsen T. et Sandford P. (Eds). Elsevier Applied Science, London, p. 51-69.

Sanin, F.D. et Vesilind, P.A. (1996) *Synthetic Sludge: A Physical/Chemical Model in Understanding Bioflocculation*, Water Environment Research, vol. 68, n° 5, p. 927-933.

Schwartz, H.G., et Popowchak, T. (1980) *Control of Sludge Bulking in the Brewing Industry*, Journal Water Pollution Control Federation, vol. 52, n° 12, p. 2977-2993.

Senstad, C., et Almas, K.A. (1985) *Use of Chitosan in the Recovery of Protein from Shrimp Processing Wastewater*, Proceedings of the Third International Conference on Chitin and Chitosan, April 1-4, Senigallia, Italy, Plenum Press, New York, p. 568-570.

Sezgin, M., Jenkins, D., et Parker, D.S. (1978) *A Unified Theory of Filamentous Activated Sludge Bulking*, Journal Water Pollution Control Federation, vol. 50, n°2, p. 362-381.

Shao, Y.J. et Jenkins, D. (1989) *The Use of Anoxic Selectors for the Control of Low F/M Activated Sludge Bulking*, Water Science and Technology, vol. 21, n°6-7, p. 609-619.

Shao, Y.J., Starr, M., Kaporis, K., Kim, H.S., et Jenkins, D. (1997) *Polymer Addition as a Solution to Nocardia Foaming Problems*, Water Environment Research, vol. 69, n° 1, p. 25-27.

Singer, P.C., Pipes, W.O., et Hermann, E.R. (1968) *Flocculation of Bulked Activated Sludge with Polyelectrolytes*, Journal Water Pollution Control Federation, vol. 40, n° 2, p. R1-R9.

Stora (1988) *Handboek Voorkomen en Bestrijden van Licht Slib.*, Stora, Den Haag.

Tenney, M. W. et Stumm, W. (1965) *Chemical Flocculation of Microorganisms in Biological Waste Treatment*, Journal Water Pollution Control Federation, vol. 37, n° 10, p. 1370-1387.

Tomlinson, E.J. et Chambers, B. (1979) *The Effect of Longitudinal Mixing on the Settleability of Activated Sludge*, Technical Report TR122, Water Research Center, Stevenage, UK.

Tomlinson, E.J. (1982) *The Emergency of the Bulking Problem and the Current Situation in the UK*. Dans: *Bulking of Activated Sludge*, Chambers, B. et Tomlinson, E.J., ed., Ellis Horwood, Chichester, p. 17-28.

Urbain, V., Block, J.C. et Manem, J. (1993) *Bioflocculation in Activated Sludge, An Analytic Approach*, WaterResearch, vol. 27, n° 5, p. 829-838.

U.S. EPA (1975) *Process Design Manual for Suspended Solids Removal*, U.S. Environmental Protection Agency, Technology Transfer, 625/1-75-003a.

Vanderhasselt, A. et Verstraete, W. (1999) *Short-Term Effects of Additives On Sludge Sedimentation Characteristics*, Water Research, vol. 33, n° 2, p. 381-390.

Vanderhasselt, A., Fuchs, A., Vanrolleghem, P., Staudinger, G. et Verstraete, W. (1999) *Monitoring of the Effects of Additives on Sludge Separation Properties by Using Sensors*, Water Environment Research, vol. 71, n° 3, p. 355-362.

Vesilind, P.A. (1968) *The Influence of Stirring in The Thickening of Biological Sludge*, Ph.D. Dissertation, Department of Environmental Sciences and Engineering, University of North Carolina, Chapel Hill, N.C.

Vesilind, P.A., Larsen I. (1968) *Discussion of Evaluation of Activated Sludge Thickening Theories*, Journal Sanitary Engineering Division, Proceeding of American Society of Civil Engineering, vol. 94, n° SA1, p. 182-191.

Wanner, J. (1994) *Activated Sludge Bulking and Foaming Control*, Technomic, Lancaster, Basel.

Wanner, J. (1992) *Comparaison of Biocenoses from Continuous and Sequencing Batch Reactors*, Water Science and Technology, vol. 25, n°6, p. 239-249.

Wanner J. et Grau P. (1989) *Identification of Filamentous microorganisms from Activated Sludge: A Compromise between Wishes, Needs and Possibilites*, Water Research vol. 23, n°7, p. 883-891.

Wen, H.J., Liu, C.I. et Lee D.J. (1997) *Size and Density of Flocculated Sludge Flocs*, Journal of Environmental Science and Health, vol. A32, n°4, p. 1125-1137.

White, M.J.D. (1976) *Design and Control of Secondary Settlement Tanks*, Water Pollution Control, vol. 75, n° 3, p. 459-467.

Wu, A.C.M., Bough, W.A., Holmes, M.R., et Perkins, B.E. (1978) *Influence of Manufacturing Variables on the Characteristics and Effectiveness of Chitosan Products : III. Coagulation of Cheese Whey Solids*, Biotechnology and Bioengineering, vol. 20, n° 12, p. 1957-1968.

Wu, Y.C. (1978) *Chemical Flocculability of Sludge Organisms in Response to Growth Conditions*, Biotechnology and Bioengineering, vol. 20, n°7, p. 677-696.

WEF (1992) *Population Dynamics and Control*. Dans: Design of Municipal Wastewater Treatment Plans, Vol. 1, WEF Manuel of Practice No. 8 and ASCE Manuel and Report on Engineering Practice No. 76, Water Environment Federation, Alexandria, p. 538-548.

Zeljko-Illic, M. (1996) *Utilisation du chitosane pour le traitement des eaux de consommation*, Mémoire de maîtrise ès sciences appliquées, Département de génie civil, Université de Sherbrooke.

ANNEXE A

DONNÉES DE DÉCANTATION DE LA BOUE ACTIVÉE DANS LE RBS

TABLEAU A.1: DÉCANTATION DE LA BOUE ACTIVÉE DANS LE RBS PENDANT LA STABILISATION DU SYSTÈME POUR LA SÉRIE A

| jour / cycle | | | | | | | | | | | |
|----------------|-------------------------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|
| 0 / I | | 1 / I | | 2 / I | | 5 / I | | 6 / I | | 7 / I | |
| temps (min) | H ^{a)} (cm) | temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) |
| 0 | 98,8 | 0 | 99,5 | 0 | 102,0 | 0 | 95,0 | 0 | 96,5 | 0 | 94,0 |
| 3 | 83,0 | 1 | 98,0 | 1 | 99,0 | 1 | 94,0 | 1 | 96,0 | 3 | 89,8 |
| 4 | 75,5 | 2 | 94,0 | 2 | 95,0 | 2 | 93,0 | 2 | 94,4 | 4 | 87,2 |
| 5 | 68,0 | 3 | 77,0 | 3 | 87,5 | 3 | 90,0 | 3 | 92,5 | 5 | 84,7 |
| 6 | 59,5 | 4 | 68,5 | 4 | 80,0 | 4 | 87,5 | 4 | 90,0 | 7 | 79,0 |
| 7 | 51,5 | 8 | 42,0 | 5 | 71,5 | 5 | 85,0 | 5 | 87,5 | 8 | 76,4 |
| 8 | 42,0 | 9 | 33,0 | 6 | 63,0 | 6 | 82,5 | 6 | 85,0 | 9 | 73,3 |
| 9 | 34,5 | 10 | 27,0 | 7 | 54,5 | 7 | 79,7 | 7 | 82,3 | 10 | 70,2 |
| 10 | 29,0 | 11 | 24,5 | 8 | 47,0 | 8 | 76,0 | 8 | 79,3 | 11 | 67,2 |
| 11 | 26,5 | 12 | 22,8 | 9 | 38,0 | 9 | 73,0 | 9 | 76,0 | 12 | 64,6 |
| 13 | 22,0 | 13 | 21,4 | 10 | 32,0 | 10 | 70,0 | 10 | 73,0 | 13 | 61,5 |
| 14 | 21,0 | 14 | 20,0 | 11 | 28,5 | 11 | 67,0 | 11 | 70,5 | 14 | 59,0 |
| 15 | 20,0 | 15 | 19,0 | 12 | 26,5 | 12 | 64,0 | 12 | 67,7 | 15 | 56,3 |
| 16 | 18,8 | 22 | 15,0 | 15 | 22,6 | 13 | 61,0 | 13 | 64,7 | 16 | 54,0 |
| 17 | 17,9 | 24 | 14,4 | 18 | 20,0 | 14 | 58,0 | 14 | 62,3 | 19 | 48,0 |
| 18 | 17,4 | 25 | 14,0 | 19 | 19,5 | 15 | 55,3 | 15 | 59,8 | 20 | 46,0 |
| 19 | 16,5 | 30 | 13,0 | 20 | 19,0 | 16 | 52,5 | 16 | 57,5 | 22 | 43,5 |
| 20 | 16,0 | 40 | 11,5 | 21 | 18,5 | 17 | 50,6 | 20 | 50,0 | 24 | 41,0 |
| 23 | 14,8 | 45 | 11,0 | 22 | 17,8 | 18 | 48,5 | 21 | 48,2 | 30 | 35,0 |
| 25 | 14,2 | | | 24 | 16,8 | 19 | 47,0 | 28 | 40,0 | 36 | 34,0 |
| 30 | 13,0 | | | 25 | 16,5 | 20 | 45,2 | 29 | 39,5 | 37 | 33,2 |
| 35 | 12,0 | | | 30 | 15,0 | 28 | 35,7 | 30 | 38,0 | 38 | 32,5 |
| 45 | 11,0 | | | 35 | 13,8 | 30 | 34,0 | 33 | 35,5 | 43 | 27,0 |
| | | | | 40 | 13,0 | 32 | 32,5 | 35 | 34,0 | 44 | 26,5 |
| | | | | 45 | 12,5 | 35 | 30,8 | 45 | 29,0 | 45 | 26,2 |
| | | | | | | 37 | 29,3 | | | | |
| | | | | | | 40 | 27,5 | | | | |
| | | | | | | 45 | 25,0 | | | | |

^{a)} H = hauteur de l'interface solide-liquide

TABLEAU A.2: DÉCANTATION DE LA BOUE ACTIVÉE DANS LE RBS AVANT ET APRÈS L'AJOUT DE CHITOSANE LORS DE LA SÉRIE A

| jour / cycle / chitosane (mg/L) | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|
| 7 / I / 0 | | 7 / VI / 5 | | 8 / I / 0 | | 9 / I / 0 | |
| temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) |
| 0 | 94,0 | 0 | 87,0 | 0 | 93,5 | 0 | 95,0 |
| 3 | 89,8 | 1 | 83,5 | 1 | 92,5 | 1 | 94,0 |
| 4 | 87,2 | 2 | 77,3 | 2 | 90,5 | 3 | 90,4 |
| 5 | 84,7 | 3 | 71,0 | 3 | 88,0 | 4 | 88,0 |
| 7 | 79,0 | 4 | 65,0 | 4 | 86,0 | 5 | 85,5 |
| 8 | 76,4 | 5 | 56,5 | 5 | 83,5 | 6 | 83,0 |
| 9 | 73,3 | 6 | 54,2 | 6 | 80,5 | 7 | 80,0 |
| 10 | 70,2 | 7 | 49,5 | 7 | 77,7 | 8 | 77,5 |
| 11 | 67,2 | 8 | 45,0 | 8 | 74,6 | 9 | 74,5 |
| 12 | 64,6 | 9 | 41,0 | 10 | 68,3 | 10 | 71,5 |
| 13 | 61,5 | 10 | 38,7 | 12 | 62,5 | 11 | 69,0 |
| 14 | 59,0 | 11 | 36,5 | 14 | 56,8 | 12 | 66,3 |
| 15 | 56,3 | 12 | 34,7 | 15 | 54,5 | 13 | 63,5 |
| 16 | 54,0 | 13 | 33,0 | 16 | 52,0 | 19 | 50,5 |
| 19 | 48,0 | 14 | 32,0 | 18 | 48,0 | 20 | 49,0 |
| 20 | 46,0 | 15 | 30,5 | 19 | 46,5 | 21 | 47,5 |
| 22 | 43,5 | 16 | 29,5 | 20 | 44,8 | 30 | 37,0 |
| 24 | 41,0 | 19 | 26,5 | 25 | 38,5 | 32 | 35,7 |
| 30 | 35,0 | 20 | 25,5 | 29 | 34,5 | 33 | 34,9 |
| 36 | 34,0 | 25 | 22,4 | 30 | 33,8 | 34 | 34,0 |
| 37 | 33,2 | 30 | 20,2 | 40 | 27,0 | 35 | 33,5 |
| 38 | 32,5 | 33 | 19,7 | 45 | 25,0 | 41 | 29,5 |
| 43 | 27,0 | 35 | 19,0 | | | 45 | 27,8 |
| 44 | 26,5 | 41 | 18,0 | | | | |
| 45 | 26,2 | 45 | 17,5 | | | | |

TABLEAU A.3 : PARAMÈTRES DE DÉCANTATION DE LA BOUE ACTIVÉE DANS LE RBS PENDANT LA SÉRIE A.

| | | cycle / chitosane (mg/L) | | | | | | | | |
|-------|----------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | | I / 0 | I / 0 | I / 0 | I / 0 | I / 0 | I / 0 | VI / 5 | I / 0 | I / 0 |
| temps | (j) | 0 | 1 | 2 | 5 | 6 | 7 | 7 | 8 | 9 |
| MLSS | (mg/L) | 1764 | 1726 | 1534 | 2798 | 2798 | 2726 | 2923 | 2780 | 2586 |
| VDZ | (cm/min) | 8 | 7,8 | 8,1 | 2,8 | 2,7 | 2,6 | 5,1 | 2,9 | 2,6 |
| IVB | (mL/g) | 75 | 76 | 96 | 128 | 141 | 137 | 79 | 130 | 151 |
| V45 | (mL) | 1514 | 1514 | 1721 | 3442 | 3993 | 3607 | 2409 | 3428 | 3828 |
| MES | (mg/L) | 26 | 22 | 9 | 18 | 13 | 22 | 22 | 34 | 33 |

TABLEAU A.4: DÉCANTATION DE LA BOUE ACTIVÉE DANS LE RBS PENDANT LA STABILISATION DU SYSTÈME POUR LA SÉRIE B.

| jour / cycle | | | | | | | | | | | |
|--------------|------|-------|------|-------|------|-------|------|--------|------|-------|------|
| 0 / I | | 2 / I | | 3 / I | | 4 / I | | 6 / VI | | 7 / I | |
| temps | H | temps | H | temps | H | temps | H | temps | H | temps | H |
| (min) | (cm) | (min) | (cm) | (min) | (cm) | (min) | (cm) | (min) | (cm) | (min) | (cm) |
| 0 | 98,5 | 0 | 95,6 | 0 | 98,1 | 0 | 98,5 | 0 | 91,1 | 0 | 94,0 |
| 1 | 96,5 | 1 | 94,0 | 1 | 96,5 | 1 | 96,8 | 1 | 90,1 | 2 | 90,7 |
| 2 | 92,0 | 2 | 89,0 | 2 | 91,8 | 2 | 94,0 | 2 | 88,5 | 3 | 88,0 |
| 3 | 86,0 | 3 | 83,4 | 4 | 81,0 | 3 | 90,4 | 3 | 86,8 | 4 | 85,3 |
| 4 | 79,5 | 4 | 77,0 | 5 | 75,5 | 4 | 86,6 | 4 | 84,8 | 5 | 82,2 |
| 5 | 73,5 | 5 | 71,3 | 6 | 70,0 | 5 | 82,5 | 7 | 77,8 | 6 | 78,8 |
| 7 | 61,7 | 6 | 65,0 | 7 | 64,5 | 6 | 78,4 | 8 | 75,6 | 7 | 76,0 |
| 9 | 50,5 | 7 | 59,4 | 9 | 54,5 | 7 | 74,2 | 12 | 65,0 | 8 | 73,0 |
| 10 | 46,0 | 8 | 54,0 | 10 | 50,0 | 8 | 70,4 | 13 | 64,0 | 9 | 69,7 |
| 11 | 42,0 | 9 | 48,5 | 11 | 46,7 | 9 | 66,2 | 14 | 61,5 | 10 | 66,5 |
| 12 | 38,8 | 10 | 44,4 | 13 | 42,5 | 10 | 62,4 | 15 | 59,3 | 11 | 63,5 |
| 13 | 36,0 | 11 | 41,2 | 14 | 40,8 | 11 | 58,9 | 18 | 53,5 | 12 | 60,5 |
| 14 | 34,0 | 12 | 38,0 | 15 | 39,0 | 12 | 55,8 | 19 | 52,0 | 13 | 57,8 |
| 15 | 32,2 | 13 | 35,7 | 16 | 37,4 | 13 | 52,7 | 20 | 50,5 | 14 | 55,4 |
| 16 | 31,0 | 14 | 34,0 | 22 | 30,4 | 14 | 50,0 | 24 | 45,7 | 15 | 53,2 |
| 18 | 28,5 | 15 | 32,3 | 24 | 29,0 | 16 | 45,8 | 25 | 44,2 | 19 | 46,5 |
| 19 | 27,0 | 19 | 28,0 | 25 | 28,2 | 22 | 37,0 | 29 | 40,3 | 24 | 40,0 |
| 20 | 26,3 | 20 | 27,0 | 26 | 27,7 | 23 | 36,0 | 30 | 39,6 | 25 | 39,0 |
| 27 | 22,0 | 25 | 23,3 | 30 | 25,3 | 24 | 35,0 | 35 | 35,8 | 30 | 34,8 |
| 28 | 21,5 | 30 | 21,5 | 33 | 24,0 | 25 | 34,3 | 40 | 33,3 | 33 | 32,9 |
| 29 | 21,0 | 37 | 19,3 | 34 | 23,3 | 30 | 30,0 | 45 | 32,0 | 35 | 31,5 |
| 30 | 20,8 | 40 | 18,5 | 35 | 23,0 | 39 | 26,2 | | | 42 | 28,5 |
| 33 | 19,8 | | | 40 | 21,5 | 40 | 26,0 | | | 45 | 27,0 |
| 35 | 19,0 | | | 45 | 20,3 | 45 | 23,0 | | | | |

TABLEAU A.5 : DÉCANTATION DE LA BOUE ACTIVÉE DANS LE RBS AVANT ET APRES L'AJOUT DE CHITOSANE PENDANT LA SÉRIE B.

| jour / cycle / chitosane (mg/L) | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|
| 8 / I / 0 | | 8 / VI / 15 | | 9 / I / 0 | | 9 / VI / 0 | | 10 / I / 0 | |
| temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) |
| 0 | 91,3 | 0 | 91,3 | 0 | 91,7 | 0 | 91,3 | 0 | 91,0 |
| 1 | 90,5 | 1 | 84,6 | 1 | 90,4 | 1 | 89,5 | 1 | 89,0 |
| 2 | 89,3 | 2 | 75,0 | 2 | 88,2 | 2 | 88,3 | 2 | 87,0 |
| 3 | 87,4 | 3 | 65,0 | 3 | 85,4 | 3 | 86,0 | 3 | 84,0 |
| 4 | 85,3 | 4 | 55,0 | 5 | 78,7 | 4 | 83,3 | 4 | 81,0 |
| 5 | 83,4 | 5 | 47,0 | 6 | 74,5 | 5 | 80,2 | 5 | 78,0 |
| 7 | 78,7 | 6 | 41,0 | 7 | 70,6 | 6 | 76,8 | 6 | 74,0 |
| 8 | 76,4 | 7 | 37,0 | 8 | 66,6 | 7 | 73,7 | 7 | 70,0 |
| 11 | 69,0 | 8 | 33,3 | 9 | 62,6 | 8 | 70,4 | 8 | 66,0 |
| 12 | 66,9 | 9 | 30,3 | 10 | 59,0 | 9 | 67,2 | 9 | 63,0 |
| 13 | 64,3 | 11 | 26,4 | 11 | 56,9 | 10 | 64,1 | 10 | 59,0 |
| 14 | 62,4 | 12 | 25,0 | 12 | 54,3 | 11 | 61,3 | 11 | 56,0 |
| 15 | 60,3 | 13 | 24,0 | 14 | 50,0 | 12 | 58,6 | 12 | 54,0 |
| 17 | 56,4 | 14 | 23,0 | 15 | 48,2 | 13 | 56,5 | 14 | 49,0 |
| 18 | 54,8 | 15 | 22,8 | 16 | 46,4 | 14 | 54,5 | 15 | 47,0 |
| 19 | 53,1 | 17 | 22,0 | 17 | 44,7 | 15 | 52,5 | 16 | 46,0 |
| 20 | 51,5 | 20 | 22,0 | 18 | 43,4 | 16 | 51,0 | 17 | 44,0 |
| 25 | 45,3 | 25 | 21,0 | 19 | 42,2 | 20 | 45,0 | 18 | 43,0 |
| 30 | 40,8 | 30 | 21,0 | 20 | 40,5 | 27 | 37,8 | 21 | 39,0 |
| 35 | 37,0 | 35 | 20,5 | 22 | 38,4 | 30 | 35,4 | 23 | 37,0 |
| 40 | 34,0 | 40 | 20,5 | 23 | 37,4 | 37 | 31,0 | 28 | 33,0 |
| 45 | 32,5 | 45 | 20,5 | 24 | 36,2 | 40 | 29,0 | 30 | 31,0 |
| | | | | 25 | 35,4 | 45 | 27,0 | 40 | 26,0 |
| | | | | 30 | 31,7 | | | 45 | 24,0 |
| | | | | 35 | 28,5 | | | | |
| | | | | 40 | 26,4 | | | | |
| | | | | 45 | 24,8 | | | | |

TABLEAU A.6 : PARAMÈTRES DE DÉCANTATION DE LA BOUE ACTIVÉE DANS LE RBS PENDANT LA SÉRIE B.

| | cycle / chitosane (mg/L) | | | | | | | | | | | |
|----------------------|--------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|---------|-------|--------|-------|
| | I / 0 | I / 0 | I / 0 | I / 0 | VI / 0 | I / 0 | VI / 0 | I / 0 | VI / 15 | I / 0 | VI / 0 | I / 0 |
| temps (j) | 0 | 2 | 3 | 4 | 6 | 7 | 7 | 8 | 8 | 9 | 9 | 10 |
| MLSS (mg/L) | 2966 | 2926 | 3134 | 3434 | 4298 | 4168 | 4326 | 4162 | 4077 | 3692 | 3854 | 3692 |
| VDZ (cm/min) | 5,6 | 5,8 | 5,3 | 3,9 | 2,3 | 3 | 2,3 | 2,7 | 9,4 | 4 | 3,1 | 3,5 |
| IVB (mL/g) | 103 | 77 | 82 | 89 | 101 | 89 | 103 | 98 | 56 | 94 | 101 | 93 |
| V ₄₅ (mL) | 2341 | 2409 | 2795 | 3167 | 4406 | 3717 | 4475 | 4172 | 2822 | 3414 | 3717 | 3304 |
| MES (mg/L) | 10 | 13,5 | 8,5 | 9 | 8 | 8 | 9 | 10 | 15 | 17,5 | 16 | 18,5 |

ANNEXE B

DONNÉES DE DÉCANTATION DE LA BOUE ACTIVÉE DANS DES CYLINDRES GRADUÉS

TABLEAU B.1 : COURBES DE DÉCANTATION DE LA BOUE ACTIVÉE DANS DES CYLINDRES GRADUÉS EN FONCTION DES DIFFÉRENTS DOSAGES DE CHITOSANE PENDANT LA SÉRIE A.

| jour / chitosane (mg/L) / MLSS (mg/L) | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|
| 5 / 2 / 3198 | | 4 / 5 / 2944 | | 7 / 5 / 2923 | | 6 / 4 / 3186 | | 8 / 10 / 2712 | |
| temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) |
| 0,0 | 35,0 | 0,0 | 35,0 | 0,0 | 35,0 | 0,0 | 35,0 | 0,0 | 35,0 |
| 0,8 | 34,3 | 0,6 | 31,5 | 1,0 | 34,3 | 0,7 | 34,7 | 1,0 | 18,2 |
| 1,3 | 34,0 | 0,8 | 29,8 | 1,5 | 34,0 | 1,0 | 34,3 | 2,0 | 14,2 |
| 1,7 | 33,6 | 1,4 | 22,8 | 2,0 | 32,9 | 1,5 | 34,0 | 3,0 | 12,7 |
| 2,0 | 32,9 | 1,5 | 21,0 | 2,5 | 31,9 | 2,0 | 32,9 | 4,0 | 11,9 |
| 2,5 | 32,0 | 1,7 | 19,3 | 3,0 | 29,4 | 2,5 | 31,7 | 5,0 | 11,2 |
| 3,0 | 30,8 | 2,0 | 17,5 | 3,5 | 27,3 | 3,0 | 29,8 | 6,0 | 10,7 |
| 3,5 | 29,4 | 2,4 | 15,8 | 4,0 | 24,9 | 3,5 | 28,0 | 7,0 | 10,3 |
| 4,0 | 28,0 | 3,1 | 14,0 | 4,5 | 23,5 | 4,0 | 25,9 | 8,0 | 10,0 |
| 4,5 | 26,4 | 3,5 | 13,3 | 5,0 | 21,7 | 4,5 | 23,8 | 13,0 | 8,9 |
| 5,0 | 25,2 | 4,0 | 12,6 | 5,5 | 20,3 | 5,0 | 22,4 | 16,0 | 8,6 |
| 5,5 | 23,8 | 4,5 | 12,3 | 6,0 | 19,3 | 5,5 | 21,2 | 17,0 | 8,6 |
| 6,0 | 22,8 | 5,0 | 11,6 | 6,5 | 18,6 | 6,0 | 20,1 | 20,0 | 8,2 |
| 6,5 | 21,7 | 5,5 | 11,2 | 7,0 | 17,9 | 6,5 | 19,4 | 25,0 | 7,9 |
| 7,0 | 20,8 | 6,0 | 11,0 | 7,5 | 17,2 | 7,0 | 18,6 | 28,0 | 7,7 |
| 7,5 | 20,0 | 6,5 | 10,9 | 8,0 | 16,6 | 7,5 | 18,0 | 30,0 | 7,5 |
| 8,0 | 19,3 | 7,0 | 10,5 | 8,5 | 16,1 | 8,0 | 17,5 | 45,0 | 7,0 |
| 8,5 | 18,7 | 7,5 | 10,3 | 9,0 | 15,8 | 8,5 | 17,2 | | |
| 9,0 | 18,2 | 8,0 | 10,2 | 9,5 | 15,4 | 9,0 | 16,8 | | |
| 9,5 | 17,7 | 9,0 | 9,8 | 10,0 | 15,1 | 10,0 | 16,1 | | |
| 10,0 | 17,3 | 10,0 | 9,5 | 11,0 | 14,4 | 11,0 | 15,4 | | |
| 11,0 | 16,5 | 11,0 | 9,3 | 12,0 | 14,0 | 12,0 | 15,1 | | |
| 12,0 | 15,9 | 12,0 | 9,1 | 13,0 | 13,5 | 13,0 | 14,5 | | |
| 13,0 | 15,4 | 13,0 | 8,9 | 14,0 | 13,1 | 14,0 | 14,2 | | |
| 14,0 | 15,1 | 14,0 | 8,8 | 15,0 | 12,6 | 15,0 | 13,8 | | |
| 15,0 | 14,5 | 19,0 | 8,1 | 16,0 | 12,3 | 20,0 | 12,6 | | |
| 16,0 | 14,2 | 20,0 | 7,9 | 17,0 | 11,6 | 30,0 | 11,6 | | |
| 22,0 | 12,4 | 24,0 | 7,5 | 18,0 | 11,2 | 35,0 | 10,2 | | |
| 24,0 | 12,1 | 25,0 | 7,5 | 23,0 | 10,5 | 40,0 | 9,8 | | |
| 28,0 | 11,6 | 30,0 | 7,2 | 25,0 | 10,3 | | | | |
| 30,0 | 11,0 | 35,0 | 7,0 | 28,0 | 9,8 | | | | |
| 45,0 | 8,8 | 40,0 | 6,7 | 29,0 | 9,6 | | | | |
| | | 45,0 | 6,7 | 30,0 | 9,5 | | | | |
| | | | | 35,0 | 8,9 | | | | |
| | | | | 40,0 | 8,4 | | | | |
| | | | | 45,0 | 7,7 | | | | |

TABLEAU B.2 : COURBES DE DÉCANTATION DE LA BOUE ACTIVÉE DANS DES CYLINDRES GRADUÉS EN FONCTION DE DIFFÉRENTS DOSAGES DE CHITOSANE PENDANT LA SÉRIE B.

| jour / chitosane (mg/L) / MLSS (mg/L) | | | | | |
|---------------------------------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|
| 7 / 15 / 4326 | | 6 / 10 / 4298 | | 8 / 0 / 4077 | |
| temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) |
| 0,0 | 35,0 | 0,0 | 35,0 | 0,0 | 35,0 |
| 0,3 | 31,5 | 0,2 | 33,3 | 0,6 | 34,3 |
| 0,4 | 29,8 | 0,5 | 31,5 | 1,1 | 34,0 |
| 0,5 | 28,0 | 0,6 | 28,0 | 2,0 | 33,6 |
| 0,7 | 24,5 | 0,7 | 26,3 | 3,0 | 32,9 |
| 1,0 | 21,0 | 0,8 | 24,5 | 4,0 | 32,2 |
| 1,2 | 19,3 | 0,9 | 22,8 | 5,0 | 31,7 |
| 1,5 | 17,5 | 1,0 | 22,1 | 6,0 | 30,1 |
| 2,2 | 16,1 | 1,1 | 21,0 | 6,5 | 29,1 |
| 2,5 | 15,1 | 1,4 | 19,3 | 7,0 | 27,7 |
| 3,0 | 14,4 | 2,0 | 17,9 | 7,5 | 27,0 |
| 3,5 | 13,7 | 2,2 | 17,5 | 8,0 | 26,3 |
| 4,0 | 13,1 | 3,0 | 16,1 | 8,5 | 25,4 |
| 4,5 | 12,8 | 3,5 | 15,4 | 9,0 | 24,7 |
| 5,0 | 12,3 | 4,0 | 15,1 | 9,5 | 24,2 |
| 5,5 | 11,9 | 4,5 | 14,7 | 10,0 | 23,5 |
| 6,0 | 11,7 | 5,0 | 14,4 | 11,0 | 22,8 |
| 6,5 | 11,6 | 6,0 | 13,8 | 12,0 | 21,7 |
| 7,0 | 11,4 | 7,5 | 13,0 | 13,0 | 21,0 |
| 8,0 | 10,9 | 8,0 | 12,8 | 15,0 | 19,6 |
| 9,0 | 10,5 | 9,0 | 12,4 | 17,0 | 18,6 |
| 10,0 | 10,3 | 10,0 | 12,1 | 19,0 | 17,9 |
| 11,0 | 10,0 | 11,0 | 11,9 | 20,0 | 17,5 |
| 15,0 | 9,8 | 12,0 | 11,6 | 22,0 | 16,6 |
| 20,0 | 9,1 | 13,0 | 11,4 | 25,0 | 15,8 |
| 25,0 | 8,9 | 14,0 | 11,2 | 28,0 | 14,9 |
| 30,0 | 8,8 | 15,0 | 11,0 | 30,0 | 14,4 |
| 35,0 | 8,6 | 16,0 | 10,9 | 35,0 | 13,3 |
| 40,0 | 8,4 | 17,0 | 10,7 | 40,0 | 12,6 |
| | | 18,0 | 10,7 | | |
| | | 19,0 | 10,5 | | |
| | | 20,0 | 10,5 | | |
| | | 25,0 | 10,0 | | |
| | | 30,0 | 9,8 | | |
| | | 35,0 | 9,5 | | |
| | | 40,0 | 9,6 | | |

TABLEAU B.3 : COURBES DE DÉCANTATION DE LA BOUE ACTIVÉE DANS DES CYLINDRES GRADUÉS EN FONCTION DE DIFFÉRENTS DOSAGES DE CHITOSANE PENDANT LA SÉRIE C (JOURS 7, 8 ET 9).

| jour / chitosane (mg/L) | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|
| 7 / 0 | | 7 / 1,0 | | 8 / 0 | | 8 / 0,5 | | 9 / 0 | | 9 / 1,5 | |
| temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) |
| 0,0 | 35,0 | 0,0 | 35,0 | 0,0 | 35,0 | 0,0 | 35,0 | 0,0 | 35,0 | 0,0 | 35,0 |
| 1,0 | 34,0 | 0,5 | 34,7 | 0,5 | 34,7 | 0,5 | 34,7 | 0,5 | 34,7 | 0,5 | 34,5 |
| 1,5 | 32,2 | 1,0 | 30,1 | 1,0 | 34,0 | 1,0 | 33,8 | 1,0 | 34,0 | 1,0 | 33,8 |
| 2,0 | 30,5 | 2,0 | 27,0 | 1,5 | 32,9 | 1,5 | 32,0 | 1,5 | 32,9 | 1,5 | 32,6 |
| 2,5 | 28,4 | 2,5 | 23,8 | 2,0 | 30,6 | 2,0 | 30,1 | 2,0 | 31,5 | 2,0 | 30,1 |
| 3,0 | 25,6 | 3,0 | 21,0 | 2,5 | 29,1 | 2,5 | 28,0 | 2,5 | 29,4 | 2,5 | 26,6 |
| 4,0 | 21,7 | 3,5 | 18,4 | 3,0 | 26,8 | 3,0 | 25,7 | 3,0 | 27,7 | 3,0 | 24,2 |
| 4,5 | 19,6 | 4,0 | 16,6 | 3,5 | 24,9 | 3,5 | 23,5 | 3,5 | 25,6 | 3,5 | 21,5 |
| 5,0 | 17,5 | 5,0 | 14,4 | 4,0 | 23,1 | 4,0 | 21,5 | 4,0 | 23,8 | 4,0 | 19,6 |
| 5,5 | 16,1 | 5,5 | 13,7 | 4,5 | 21,0 | 4,5 | 19,6 | 4,5 | 21,7 | 4,5 | 18,2 |
| 6,0 | 15,1 | 6,0 | 13,0 | 5,0 | 19,1 | 5,0 | 17,9 | 5,0 | 20,0 | 5,0 | 17,0 |
| 6,5 | 14,4 | 6,5 | 12,6 | 5,5 | 17,7 | 5,5 | 17,0 | 5,5 | 18,6 | 5,5 | 16,1 |
| 7,0 | 13,5 | 7,0 | 12,3 | 6,0 | 16,5 | 6,0 | 15,6 | 6,0 | 17,7 | 6,0 | 15,4 |
| 7,5 | 13,0 | 7,5 | 11,9 | 7,0 | 14,7 | 6,5 | 14,7 | 7,0 | 15,8 | 6,5 | 14,7 |
| 8,0 | 12,3 | 8,0 | 11,6 | 7,5 | 14,0 | 7,0 | 14,2 | 8,0 | 14,5 | 7,0 | 14,4 |
| 8,5 | 11,9 | 8,5 | 11,2 | 8,0 | 13,3 | 8,0 | 13,0 | 9,0 | 13,7 | 8,0 | 13,5 |
| 9,0 | 11,6 | 9,0 | 11,0 | 8,5 | 13,0 | 8,5 | 12,6 | 10,0 | 13,0 | 9,0 | 13,0 |
| 10,0 | 11,0 | 10,0 | 10,5 | 9,0 | 12,4 | 9,0 | 12,3 | 13,0 | 11,2 | 10,0 | 12,3 |
| 11,0 | 10,5 | 11,0 | 10,2 | 9,5 | 11,9 | 9,5 | 11,9 | 14,0 | 10,9 | 12,0 | 11,2 |
| 12,0 | 10,2 | 12,0 | 9,8 | 10,0 | 11,6 | 10,0 | 11,6 | 15,0 | 10,5 | 14,0 | 10,5 |
| 13,0 | 9,8 | 13,0 | 9,5 | 12,0 | 10,5 | 10,5 | 11,2 | 20,0 | 9,3 | 15,0 | 10,3 |
| 14,0 | 9,5 | 14,0 | 9,1 | 14,0 | 9,8 | 11,0 | 11,0 | 25,0 | 8,4 | 20,0 | 9,1 |
| 15,0 | 9,1 | 15,0 | 8,8 | 15,0 | 9,6 | 13,0 | 10,2 | 30,0 | 7,7 | 26,0 | 8,1 |
| 20,0 | 8,1 | 20,0 | 7,7 | 20,0 | 8,4 | 15,0 | 9,5 | 35,0 | 7,0 | 30,0 | 7,7 |
| 26,0 | 7,0 | 30,0 | 6,7 | 25,0 | 7,7 | 20,0 | 8,4 | 42,0 | 6,5 | 35,0 | 7,0 |
| 30,0 | 6,7 | 35,0 | 6,3 | 30,0 | 7,0 | 25,0 | 7,5 | 45,0 | 6,3 | 43,0 | 6,5 |
| 35,0 | 6,3 | 45,0 | 5,8 | 35,0 | 6,5 | 30,0 | 7,0 | | | 45,0 | 6,3 |
| 45,0 | 5,6 | | | 40,0 | 4,4 | 35,0 | 6,5 | | | | |
| | | | | 45,0 | 4,2 | 40,0 | 4,4 | | | | |
| | | | | | | 45,0 | 4,2 | | | | |

TABLEAU B.4 : COURBES DE DÉCANTATION DE LA BOUE ACTIVÉE DANS DES CYLINDRES GRADUÉS EN FONCTION DE DIFFÉRENTS DOSAGES DE CHITOSANE PENDANT LA SÉRIE C (JOURS 10 ET 13).

| jour / chitosane (mg/L) | | | | | | | |
|-------------------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|
| 10 / 0 | | 10 / 2 | | 13 / 0 | | 13 / 4 | |
| temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) |
| 0,0 | 35,0 | 0,0 | 35,0 | 0,0 | 35,0 | 0,0 | 35,0 |
| 0,5 | 34,7 | 0,5 | 34,7 | 1,0 | 34,1 | 0,5 | 34,3 |
| 1,0 | 34,1 | 1,0 | 34,0 | 1,5 | 33,3 | 1,0 | 33,1 |
| 1,5 | 33,3 | 1,5 | 32,9 | 2,0 | 31,9 | 1,5 | 31,2 |
| 2,0 | 31,9 | 2,0 | 30,3 | 2,5 | 30,1 | 2,0 | 28,4 |
| 2,5 | 29,9 | 2,5 | 28,0 | 3,0 | 28,4 | 2,5 | 25,0 |
| 3,0 | 28,9 | 3,0 | 25,9 | 4,0 | 24,2 | 3,0 | 22,2 |
| 3,5 | 27,0 | 3,5 | 24,0 | 4,5 | 22,8 | 3,5 | 20,3 |
| 4,0 | 25,6 | 4,0 | 22,4 | 5,0 | 21,0 | 4,0 | 18,9 |
| 4,5 | 23,5 | 4,5 | 21,0 | 5,5 | 19,3 | 5,0 | 16,8 |
| 5,0 | 21,7 | 5,0 | 20,1 | 6,0 | 17,9 | 5,5 | 16,1 |
| 5,5 | 20,3 | 5,5 | 19,3 | 6,5 | 16,6 | 6,0 | 15,4 |
| 6,0 | 19,6 | 6,0 | 18,6 | 7,0 | 15,6 | 6,5 | 14,9 |
| 7,0 | 18,4 | 6,5 | 17,9 | 7,5 | 14,9 | 7,0 | 14,4 |
| 8,0 | 17,2 | 7,0 | 17,2 | 8,0 | 14,4 | 7,5 | 13,8 |
| 9,0 | 16,3 | 8,0 | 16,1 | 8,5 | 13,9 | 8,0 | 13,5 |
| 10,0 | 15,6 | 9,0 | 15,1 | 10,0 | 12,6 | 8,5 | 13,1 |
| 13,0 | 14,4 | 10,0 | 14,5 | 11,0 | 11,9 | 9,0 | 12,6 |
| 14,0 | 14,0 | 11,0 | 14,0 | 12,0 | 11,4 | 10,0 | 12,1 |
| 15,0 | 13,7 | 12,0 | 13,5 | 15,0 | 10,2 | 12,0 | 11,2 |
| 20,0 | 12,1 | 13,0 | 13,0 | 16,0 | 9,8 | 15,0 | 10,0 |
| 25,0 | 11,2 | 14,0 | 12,4 | 19,0 | 8,8 | 17,0 | 9,5 |
| 30,0 | 10,2 | 15,0 | 12,1 | 20,0 | 8,6 | 20,0 | 8,8 |
| 35,0 | 9,3 | 20,0 | 10,5 | 25,0 | 7,5 | 25,0 | 7,7 |
| 42,0 | 8,4 | 25,0 | 9,5 | 30,0 | 6,7 | 38,0 | 6,5 |
| 45,0 | 8,1 | 30,0 | 8,4 | 37,0 | 6,0 | 40,0 | 6,3 |
| | | 37,0 | 7,0 | 40,0 | 5,6 | 45,0 | 6,0 |
| | | 45,0 | 6,8 | 45,0 | 5,3 | | |

TABLEAU B.5 : COURBES DE DÉCANTATION DE LA BOUE ACTIVÉE DANS DES CYLINDRES GRADUÉS EN FONCTION DE DIFFÉRENTS DOSAGES DE CHITOSANE PENDANT LA SÉRIE C (JOURS 14 ET 15).

| jour / chitosane (mg/L) | | | | | | | |
|-------------------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|
| 14 / 0,0 | | 14 / 8,0 | | 15 / 0,0 | | 15 / 3,0 | |
| temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) | temps (min) | H (cm) |
| 0,0 | 35,0 | 0,0 | 35,0 | 0,0 | 35,0 | 0,0 | 35,0 |
| 0,5 | 34,8 | 0,5 | 28,0 | 0,5 | 34,1 | 0,5 | 34,8 |
| 1,0 | 34,3 | 1,0 | 20,3 | 1,0 | 32,6 | 1,0 | 34,5 |
| 1,5 | 33,8 | 1,5 | 15,1 | 1,5 | 30,8 | 1,5 | 34,0 |
| 2,0 | 32,6 | 2,0 | 13,3 | 2,0 | 28,7 | 2,0 | 33,3 |
| 2,5 | 30,8 | 2,5 | 11,9 | 2,5 | 25,6 | 2,5 | 32,2 |
| 3,0 | 29,4 | 3,0 | 11,2 | 3,0 | 23,6 | 3,0 | 30,5 |
| 3,5 | 28,0 | 4,0 | 10,5 | 3,5 | 21,9 | 3,5 | 28,7 |
| 4,0 | 26,3 | 4,5 | 10,2 | 4,0 | 20,7 | 4,0 | 26,3 |
| 4,5 | 24,5 | 5,0 | 9,8 | 4,5 | 19,6 | 4,5 | 24,9 |
| 5,0 | 23,5 | 5,5 | 9,5 | 5,0 | 18,6 | 5,0 | 23,1 |
| 5,5 | 22,4 | 6,0 | 9,1 | 5,5 | 17,7 | 5,5 | 21,7 |
| 6,0 | 21,4 | 6,5 | 8,8 | 6,0 | 17,2 | 6,0 | 20,3 |
| 7,0 | 19,6 | 7,0 | 8,6 | 6,5 | 16,5 | 7,0 | 18,6 |
| 7,5 | 18,7 | 7,5 | 8,4 | 7,0 | 15,8 | 7,5 | 17,9 |
| 8,0 | 17,9 | 8,0 | 8,3 | 8,0 | 15,1 | 8,0 | 17,5 |
| 8,5 | 17,3 | 9,0 | 8,2 | 8,5 | 14,7 | 8,5 | 16,8 |
| 9,0 | 16,8 | 10,0 | 8,1 | 9,0 | 14,4 | 9,0 | 16,5 |
| 10,0 | 16,1 | 11,0 | 7,7 | 10,0 | 13,7 | 10,0 | 15,4 |
| 11,0 | 15,4 | 12,0 | 7,4 | 12,0 | 12,6 | 11,0 | 14,7 |
| 13,0 | 13,7 | 15,0 | 7,2 | 15,0 | 11,2 | 13,0 | 13,7 |
| 14,0 | 13,3 | 18,0 | 6,8 | 17,0 | 10,7 | 14,0 | 13,1 |
| 15,0 | 12,4 | 20,0 | 6,7 | 20,0 | 9,8 | 16,0 | 12,3 |
| 20,0 | 11,0 | 22,0 | 6,6 | 25,0 | 8,9 | 20,0 | 10,9 |
| 25,0 | 9,8 | 25,0 | 6,4 | 30,0 | 8,4 | 25,0 | 9,5 |
| 30,0 | 9,1 | 30,0 | 6,3 | 35,0 | 7,7 | 30,0 | 8,4 |
| 35,0 | 8,6 | 35,0 | 6,1 | 40,0 | 7,4 | 35,0 | 7,7 |
| 40 | 8,4 | 40,0 | 6,0 | 45,0 | 7,0 | 40,0 | 7,2 |
| 45 | 8,05 | 45,0 | 5,8 | | | 45,0 | 6,7 |

TABLEAU B.6 : PARAMÈTRES DE DÉCANTATION DE LA BOUE ACTIVÉE EN FONCTION DE LA CONCENTRATION DE CHITOSANE POUR LA SÉRIE C.

| jour (j) | chitosane (mg/L) | MLSS (mg/L) | V _C (cm/min) | IVB _C (mL/g) |
|-------------|---------------------|----------------|----------------------------|----------------------------|
| 8 | 0,0 | 3360 | 4,3 | 57 |
| 8 | 1,0 | 3360 | 5,2 | 57 |
| 9 | 0,0 | 3044 | 3,9 | 66 |
| 9 | 0,5 | 3044 | 4,2 | 66 |
| 10 | 0,0 | 2928 | 3,8 | 75 |
| 10 | 1,5 | 2928 | 5,1 | 75 |
| 11 | 0,0 | 3019 | 3,3 | 96 |
| 11 | 2,0 | 3019 | 4,4 | 89 |
| 14 | 0,0 | 2530 | 3,6 | 77 |
| 14 | 4,0 | 2530 | 5,6 | 79 |
| 15 | 0,0 | 2738 | 2,8 | 95 |
| 15 | 8,0 | 2738 | 13,4 | 66 |
| 16 | 0,0 | 2840 | 3,6 | 85 |
| 16 | 3,0 | 2840 | 4,9 | 85 |

TABLEAU B.7 : CHANGEMENTS RELATIFS DES PARAMÈTRES DE DÉCANTATION DE LA BOUE ACTIVÉE EN FONCTION DE LA CONCENTRATION DE CHITOSANE POUR LA SÉRIE C.

| chitosane (mg/L) | V _C / V _{C0} | IVB _C / IVB _{C0} |
|---------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| 0,5 | 1,1 | 1,00 |
| 1,0 | 1,2 | 1,00 |
| 1,5 | 1,3 | 1,00 |
| 2,0 | 1,3 | 0,93 |
| 3,0 | 1,4 | 1,00 |
| 4,0 | 1,6 | 1,02 |
| 8,0 | 4,8 | 0,69 |

TABLEAU B.8 : COURBES DE DÉCANTATION DE LA BOUE ACTIVÉE DANS DES CYLINDRES GRADUÉS EN FONCTION DE DIFFÉRENTS DOSAGES DE CHITOSANE PENDANT LA SÉRIE D, JOUR 22.

| chitosane (mg/L) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
| 0,0 | | 1,0 | | 1,5 | | 2,0 | | 2,0 | | 3,0 | | 3,5 | | 4,0 | | 4,5 | | 5,0 | |
| t (min) | H (cm) | t (min) | H (cm) | t (min) | H (cm) | t (min) | H (cm) | t (min) | H (cm) | t (min) | H (cm) | t (min) | H (cm) | t (min) | H (cm) | t (min) | H (cm) | t (min) | H (cm) |
| 1,0 | 34,5 | 0,5 | 34,7 | 0,5 | 34,7 | 0,5 | 34,7 | 0,5 | 34,5 | 1,0 | 33,8 | 0,5 | 34,3 | 0,3 | 34,0 | 0,3 | 34,0 | 0,3 | 33,3 |
| 1,5 | 34,3 | 1,0 | 34,3 | 1,0 | 34,0 | 0,8 | 34,3 | 1,0 | 33,8 | 1,5 | 32,9 | 1,0 | 33,3 | 0,5 | 33,3 | 0,4 | 33,3 | 0,5 | 31,5 |
| 2,0 | 33,6 | 1,5 | 34,0 | 1,5 | 33,6 | 1,0 | 34,1 | 1,5 | 32,9 | 2,0 | 31,7 | 1,5 | 31,5 | 0,9 | 31,5 | 0,6 | 31,5 | 0,6 | 29,8 |
| 2,5 | 32,7 | 2,0 | 33,6 | 2,0 | 32,7 | 1,2 | 34,0 | 2,0 | 32,0 | 3,0 | 30,3 | 2,0 | 29,2 | 1,0 | 30,1 | 0,7 | 29,8 | 0,8 | 28,0 |
| 3,0 | 31,2 | 2,5 | 33,3 | 2,5 | 31,9 | 1,5 | 33,4 | 2,5 | 30,6 | 4,0 | 24,3 | 2,5 | 27,0 | 1,3 | 28,0 | 0,8 | 28,0 | 0,9 | 26,3 |
| 3,5 | 29,8 | 3,0 | 32,2 | 3,5 | 28,7 | 2,0 | 32,9 | 3,0 | 28,5 | 4,5 | 23,1 | 3,0 | 25,2 | 1,4 | 26,3 | 0,9 | 26,3 | 1,1 | 24,5 |
| 4,0 | 27,3 | 3,5 | 30,5 | 4,0 | 26,6 | 2,5 | 31,9 | 4,0 | 24,2 | 5,0 | 21,5 | 3,5 | 23,5 | 1,7 | 24,5 | 1,0 | 24,5 | 1,2 | 22,8 |
| 4,5 | 26,6 | 4,0 | 28,7 | 4,5 | 25,6 | 3,0 | 29,4 | 4,5 | 22,6 | 5,5 | 20,3 | 4,0 | 22,1 | 2,0 | 22,8 | 1,1 | 22,8 | 1,3 | 21,0 |
| 5,0 | 25,2 | 4,5 | 27,0 | 5,0 | 23,8 | 3,5 | 28,0 | 5,0 | 21,0 | 6,5 | 18,9 | 4,5 | 20,7 | 2,4 | 21,0 | 1,3 | 21,0 | 1,5 | 19,3 |
| 5,5 | 23,6 | 5,0 | 25,4 | 6,0 | 21,4 | 4,0 | 26,3 | 5,5 | 20,1 | 7,0 | 18,2 | 5,0 | 19,8 | 2,5 | 20,7 | 1,5 | 19,3 | 1,9 | 17,5 |
| 6,0 | 22,4 | 5,5 | 23,8 | 6,5 | 20,3 | 4,5 | 24,7 | 6,0 | 19,3 | 7,5 | 17,5 | 5,5 | 18,9 | 3,0 | 18,9 | 1,7 | 17,5 | 2,0 | 16,8 |
| 6,5 | 21,4 | 6,0 | 22,6 | 7,0 | 19,6 | 5,0 | 23,3 | 7,0 | 17,9 | 8,0 | 17,0 | 6,0 | 18,2 | 3,5 | 17,9 | 2,0 | 16,5 | 2,3 | 15,8 |
| 7,0 | 20,3 | 6,5 | 21,5 | 8,0 | 18,2 | 5,5 | 22,2 | 7,5 | 17,3 | 8,5 | 16,5 | 6,5 | 17,5 | 4,0 | 16,8 | 2,5 | 14,7 | 3,0 | 14,2 |
| 7,5 | 19,6 | 7,5 | 19,8 | 10,0 | 16,5 | 6,0 | 21,4 | 8,0 | 16,8 | 9,0 | 16,1 | 7,0 | 16,8 | 4,5 | 16,1 | 2,8 | 14,0 | 3,5 | 13,3 |
| 8,0 | 18,9 | 8,0 | 19,1 | 15,0 | 14,0 | 7,0 | 19,6 | 10,5 | 14,9 | 10,0 | 15,2 | 8,0 | 15,8 | 5,0 | 15,4 | 3,0 | 13,7 | 4,0 | 12,6 |
| 9,0 | 17,9 | 8,5 | 18,6 | 20,0 | 12,4 | 8,0 | 18,6 | 11,0 | 14,7 | 11,0 | 14,7 | 9,0 | 15,1 | 5,5 | 14,7 | 3,5 | 13,0 | 5,0 | 11,7 |
| 10,0 | 16,8 | 9,0 | 17,9 | 25,0 | 11,4 | 9,0 | 17,3 | 12,0 | 14,0 | 12,0 | 14,0 | 10,0 | 14,4 | 6,5 | 13,8 | 4,0 | 12,3 | 6,0 | 11,0 |
| 11,0 | 16,1 | 10,0 | 17,2 | 30,0 | 10,5 | 10,0 | 16,6 | 15,0 | 12,8 | 13,0 | 13,7 | 15,0 | 11,9 | 7,0 | 13,5 | 5,0 | 11,6 | 7,0 | 10,5 |
| 12,0 | 15,6 | 11,0 | 16,5 | 35,0 | 9,8 | 15,0 | 14,0 | 17,0 | 12,1 | 14,0 | 13,1 | 20,0 | 10,5 | 9,0 | 12,3 | 6,0 | 10,9 | 8,0 | 10,2 |
| 13,0 | 15,1 | 12,0 | 15,8 | 40,0 | 9,3 | 20,0 | 12,3 | 18,0 | 11,7 | 15,0 | 12,8 | 25,0 | 9,6 | 10,0 | 11,7 | 7,0 | 10,5 | 9,0 | 9,8 |
| 14,0 | 14,7 | 13,0 | 15,2 | 45,0 | 7,9 | 25,0 | 11,2 | 20,0 | 11,2 | 20,0 | 11,2 | 30,0 | 8,9 | 16,0 | 9,8 | 8,0 | 10,0 | 10,0 | 9,5 |
| 15,0 | 14,2 | 14,0 | 14,7 | | | 30,0 | 10,2 | 25,0 | 10,2 | 24,0 | 10,3 | 37,0 | 8,4 | 19,0 | 9,5 | 9,0 | 9,5 | 15,0 | 8,6 |
| 20,0 | 13,1 | 15,0 | 14,4 | | | 35,0 | 9,6 | 30,0 | 9,3 | 25,0 | 10,2 | 40,0 | 8,1 | 20,0 | 9,3 | 10,0 | 8,9 | 20,0 | 8,1 |
| 25,0 | 11,9 | 21,0 | 12,6 | | | 40,0 | 9,1 | 35,0 | 8,8 | 30,0 | 9,5 | 45,0 | 7,4 | 25,0 | 8,6 | 16,0 | 8,4 | 25,0 | 7,7 |
| 30,0 | 10,9 | 25,0 | 11,6 | | | 45,0 | 8,8 | 40,0 | 8,1 | 35,0 | 8,8 | | | 30,0 | 8,2 | 20,0 | 8,1 | 30,0 | 7,5 |
| 35,0 | 10,2 | 30,0 | 10,9 | | | | | 45,0 | 7,9 | 40,0 | 8,4 | | | 35,0 | 7,9 | 25,0 | 7,7 | 35,0 | 7,2 |
| 40,0 | 9,6 | 35,0 | 10,0 | | | | | | | 45,0 | 8,1 | | | 40,0 | 7,5 | 30,0 | 7,4 | 40,0 | 7,0 |
| 45,0 | 9,1 | 40,0 | 9,5 | | | | | | | | | | | 45,0 | 7,4 | 35 | 7,2 | 45,0 | 6,8 |
| | | 45,0 | 9,3 | | | | | | | | | | | | | 45 | 6,9 | | |

TABLEAU B.9 : PARAMÈTRES DE DÉCANTATION DE LA BOUE ACTIVÉE EN FONCTION DE LA CONCENTRATION DE CHITOSANE PENDANT LA SÉRIE D.

| | chitosane (mg/L) | | | | | | | | | |
|----------------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| | 0,0 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,0 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,0 |
| V_c (cm/min) | 3,0 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,8 | 3,8 | 4,3 | 6,2 | 13,3 | 12,4 |
| IVB_c (mL/g) | 100 | 100 | 97 | 94 | 86 | 87 | 83 | 76 | 68 | 70 |

TABLEAU B.10 : EFFET DU CHITOSANE SUR LA DÉCANTATION DE LA BOUE DANS DES CYLINDRES EXPRIMÉS PAR LES CHANGEMENTS RELATIFS DES PARAMÈTRES DE DÉCANTATION POUR LES SÉRIES B, C ET D.

| série | chitosane (mg/L) | V_c / V_{c0} | IVB_c / IVB_{c0} |
|-------|---------------------|----------------|--------------------|
| B | 10,0 | 7,7 | 0,64 |
| | 15,0 | 6,8 | 0,57 |
| C | 0,5 | 1,1 | 1,00 |
| | 1,0 | 1,2 | 1,00 |
| | 1,5 | 1,3 | 1,00 |
| | 2,0 | 1,3 | 0,93 |
| | 3,0 | 1,4 | 1,00 |
| | 4,0 | 1,6 | 1,02 |
| | 8,0 | 4,8 | 0,69 |
| D | 1,0 | 1,1 | 1,00 |
| | 1,5 | 1,1 | 0,97 |
| | 2,0 | 1,1 | 0,94 |
| | 2,0 | 1,3 | 0,86 |
| | 3,0 | 1,3 | 0,87 |
| | 3,5 | 1,4 | 0,83 |
| | 4,0 | 2,1 | 0,76 |
| | 4,5 | 4,4 | 0,68 |
| | 5,0 | 4,1 | 0,70 |

ANNEXE C

DONNÉES SUR LE TRAITEMENT BIOLOGIQUE DANS LE RBS

TABLEAU C.1: ÉVOLUTION JOURNALIÈRE DU COT DANS L'AFFLUENT ET L'EFFLUENT DU RBS PENDANT LA SÉRIE A.

| temps (j) | cycle | chitosane (mg/L) | COT _{aff.} (mg C/L) | COT _{eff.} (mg C/L) | E (%) |
|--------------|-------|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------|
| 0 | I | 0 | 178,0 | 82,7 | 54 |
| 1 | I | 0 | 180,0 | 138,5 | 23 |
| 1 | VI | 0 | 179,0 | 99,4 | 44 |
| 2 | I | 0 | 165,0 | 96,5 | 42 |
| 4 | VI | 0 | 142,6 | 27,5 | 81 |
| 5 | I | 0 | 173,0 | 12,6 | 93 |
| 6 | I | 0 | 203,0 | 10,5 | 95 |
| 6 | VI | 0 | 207,0 | 8,8 | 96 |
| 7 | I | 0 | 192,0 | 9,5 | 95 |
| 7 | VI | 5 | 180,5 | 9,2 | 95 |
| 8 | I | 0 | 180,5 | 9,4 | 95 |
| 8 | VI | 0 | 179,3 | 10,3 | 94 |
| 9 | I | 0 | 179,3 | 12,4 | 93 |

TABLEAU C.2: ÉVOLUTION DU COT DANS LE SURNAGEANT DE LA LIQUEUR MIXTE DU RBS PENDANT LA PHASE DE RÉACTION DU PREMIER CYCLE LORS DE LA SÉRIE A.

| temps (min) | jour / chitosane (mg/L) | | | |
|----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | 5 / 0 | 7 / 0 | 8 / 5 | 9 / 0 |
| | COT (mg C/L) | COT (mg C/L) | COT (mg C/L) | COT (mg C/L) |
| 0 | 27,5 | 8,8 | 9,2 | 10,3 |
| 15 | 94,6 | 98,5 | 78,9 | 88,7 |
| 45 | 41,5 | 18,0 | 23,6 | 19,0 |
| 75 | 15,7 | 11,6 | 10,5 | 14,1 |
| 105 | 12,1 | 9,9 | 7,3 | 11,3 |
| 135 | 11,6 | 9,8 | 8,3 | 12,5 |
| 165 | 11,2 | 9,0 | 7,7 | 13,3 |

TABLEAU C.3 : ÉVOLUTION JOURNALIÈRE DE LA MVLSS ET LA MLSS DANS LE RBS LORS DE LA SÉRIE A.

| temps (j) | cycle | chitosane (mg/L) | MVLSS (mg/L) | MLSS (mg/L) | MVLSS/MLSS % |
|--------------|-------|---------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| 0 | I | 0 | 1244 | 1764 | 71 |
| 1 | I | 0 | 1248 | 1726 | 72 |
| 1 | VI | 0 | 1400 | 1884 | 74 |
| 2 | I | 0 | 1296 | 1534 | 84 |
| 4 | VI | 0 | 2574 | 2944 | 87 |
| 5 | I | 0 | 2422 | 2798 | 87 |
| 5 | VI | 0 | 2732 | 3198 | 85 |
| 6 | I | 0 | 2532 | 2798 | 90 |
| 6 | VI | 0 | 2746 | 3186 | 86 |
| 7 | I | 0 | 2346 | 2726 | 86 |
| 7 | VI | 5 | 2546 | 2923 | 87 |
| 8 | I | 0 | 2402 | 2780 | 86 |
| 8 | VI | 0 | 2446 | 2712 | 90 |
| 9 | I | 0 | 2364 | 2586 | 91 |

TABLEAU C.4 : EVOLUTION JOURNALIÈRE DE NH₃-N DANS L'AFFLUENT ET L'EFFLUENT DU RBS PENDANT LA SÉRIE A.

| temps (j) | cycle | chitosane (mg/L) | NH ₃ aff. (mg N/L) | NH ₃ eff. (mg N/L) | E (%) |
|--------------|-------|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------|
| 0 | I | 0 | 22,5 | 15,2 | 32 |
| 1 | I | 0 | 21,6 | 17,6 | 19 |
| 2 | I | 0 | 16,3 | 6,9 | 58 |
| 4 | VI | 0 | 14,9 | 4,8 | 68 |
| 5 | I | 0 | 23,0 | 3,7 | 84 |
| 6 | I | 0 | 19,2 | 7,3 | 62 |
| 6 | VI | 0 | 19,0 | 9,5 | 50 |
| 7 | I | 0 | 23,6 | 7,0 | 70 |
| 7 | VI | 5 | 19,8 | 6,3 | 68 |
| 8 | I | 0 | 17,1 | 3,7 | 78 |
| 9 | I | 0 | 16,4 | 4,7 | 71 |

TABLEAU C.5 : ÉVOLUTION DE NH_3 DANS LE SURNAGEANT DE LA LIQUEUR MIXTE DU RBS PENDANT LA PHASE DE RÉACTION DU PREMIER CYCLE LORS DE LA SÉRIE A.

| | jour / chitosane (mg/L) | | | |
|----------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | 5 / 0 | 7 / 0 | 8 / 5 | 9 / 0 |
| temps (min) | NH_3 (mg N/L) | NH_3 (mg N/L) | NH_3 (mg N/L) | NH_3 (mg N/L) |
| 0 | 4,8 | 9,5 | 6,3 | 3,7 |
| 15 | 18,9 | 17,2 | 13,8 | 15,3 |
| 45 | 17,7 | 12,0 | 13,9 | 9,0 |
| 75 | 11,4 | 11,6 | 5,3 | 6,8 |
| 105 | 2,6 | 3,6 | 4,6 | 5,5 |
| 135 | 2,3 | / | 3,7 | / |
| 165 | 2,6 | 4,4 | 2,5 | 3,9 |

TABLEAU C.6 : ÉVOLUTION JOURNALIÈRE DES NO_3^- DANS L'AFFLUENT ET L'EFFLUENT DU RBS PENDANT LA SÉRIE A.

| temps (j) | cycle | chitosane (mg/L) | NO_3^- aff. (mg N/L) | NO_3^- eff. (mg N/L) |
|--------------|-------|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 0 | I | 0 | 1,0 | 7,3 |
| 1 | I | 0 | 0,9 | 4,7 |
| 2 | I | 0 | 1,0 | 4,9 |
| 4 | VI | 0 | 0,6 | 5,3 |
| 5 | I | 0 | 0,6 | 5,2 |
| 6 | I | 0 | 0,8 | 2,6 |
| 7 | I | 0 | 0,8 | 3,8 |
| 7 | VI | 5 | 0,5 | 2,8 |
| 8 | I | 0 | 0,8 | 3,2 |
| 8 | VI | 0 | 0,5 | 2,8 |
| 9 | I | 0 | 0,7 | 2,8 |

TABLEAU C.7: ÉVOLUTION JOURNALIÈRE DE TKN DANS L'AFFLUENT ET L'EFFLUENT DU RBS PENDANT LA SÉRIE A.

| temps (j) | cycle | chitosane (mg/L) | TKN _{aff.} (mg N/L) | TKN _{eff.} (mg N/L) | E (%) |
|--------------|-------|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------|
| 0 | I | 0 | 29,1 | 22,6 | 22 |
| 1 | I | 0 | 29,4 | 25,4 | 14 |
| 2 | I | 0 | 26,7 | 13,3 | 50 |
| 5 | I | 0 | 34,1 | 10,7 | 69 |
| 6 | I | 0 | 31,4 | 12,4 | 61 |
| 6 | VI | 0 | 30,8 | 13,1 | 57 |
| 7 | I | 0 | 33,5 | 11,8 | 65 |
| 7 | VI | 5 | 31,0 | 9,5 | 69 |
| 8 | I | 0 | 32,4 | 10,2 | 68 |
| 9 | I | 0 | 30,3 | 11,4 | 62 |

TABLEAU C.8: ÉVOLUTION DE TKN DANS LE SURNAGEANT DE LA LIQUEUR MIXTE DU RBS PENDANT LA PHASE DE RÉACTION DU PREMIER CYCLE LORS DE LA SÉRIE A.

| temps (min) | jour / chitosane (mg/L) | |
|----------------|-------------------------|-----------------|
| | 7 / 0 | 8 / 5 |
| | TKN (mg N/L) | TKN (mg N/L) |
| 0 | 13,1 | 9,5 |
| 15 | 36,2 | 30,0 |
| 45 | 31,1 | 28,7 |
| 75 | 16,2 | 22,6 |
| 105 | 13,9 | 17,8 |
| 135 | / | 15,1 |
| 165 | 11,7 | 11,4 |

TABLEAU C.9 : ÉVOLUTION JOURNALIÈRE DES PO_4^{3-} DANS L'AFFLUENT ET L'EFFLUENT DU RBS PENDANT LA SÉRIE A.

| temps (j) | cycle | chitosane (mg/L) | PO_4^{3-} aff, (mg PO_4^{3-} /L) | PO_4^{3-} eff, (mg PO_4^{3-} /L) | E (%) |
|--------------|-------|---------------------|---|---|----------|
| 0 | I | 0 | 11,60 | 6,90 | 40 |
| 1 | I | 0 | 11,10 | 7,90 | 29 |
| 2 | I | 0 | 11,80 | 6,20 | 48 |
| 5 | I | 0 | 11,90 | 0,89 | 93 |
| 6 | I | 0 | 11,10 | 0,70 | 94 |
| 7 | I | 0 | 11,90 | 0,76 | 94 |
| 7 | VI | 5 | 10,60 | 1,75 | 83 |
| 8 | I | 0 | 10,40 | 1,90 | 82 |
| 9 | I | 0 | 10,50 | 1,29 | 88 |

TABLEAU C.10 : ÉVOLUTION JOURNALIÈRE DE P_t DANS L'AFFLUENT ET L'EFFLUENT DU RBS PENDANT LA SÉRIE A.

| temps (j) | cycle | chitosane (mg/L) | P_t aff, (mg P/L) | P_t eff, (mg P/L) | E (%) |
|--------------|-------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------|
| 0 | I | 0 | 4,1 | 2,9 | 29 |
| 1 | I | 0 | 3,7 | 3,0 | 28 |
| 2 | I | 0 | 4,0 | 3,0 | 25 |
| 5 | I | 0 | 4,6 | 1,2 | 74 |
| 6 | I | 0 | 3,8 | 0,7 | 81 |
| 7 | I | 0 | 3,8 | 0,8 | 79 |
| 7 | VI | 5 | 3,7 | 0,8 | 78 |
| 8 | I | 0 | 3,8 | 1,7 | 55 |
| 9 | I | 0 | 3,7 | 1,5 | 59 |

TABLEAU C.11 : ÉVOLUTION JOURNALIÈRE DU COT DANS L'AFFLUENT ET L'EFFLUENT DU RBS PENDANT LA SÉRIE B.

| temps (j) | cycle | chitosane (mg/L) | COT _{aff.} (mg C/L) | COT _{eff.} (mg C/L) | E (%) |
|--------------|-------|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------|
| 0 | I | 0 | 175,8 | 73,0 | 58 |
| 1 | I | 0 | 174,5 | 124,0 | 30 |
| 3 | I | 0 | 179,0 | 9,1 | 95 |
| 4 | I | 0 | 178,5 | 9,3 | 95 |
| 6 | VI | 0 | 162,5 | 7,3 | 96 |
| 7 | I | 0 | 180,5 | 7,2 | 96 |
| 7 | VI | 0 | 156,4 | 6,7 | 96 |
| 8 | I | 0 | 156,4 | 8,2 | 95 |
| 8 | VI | 15 | 148,9 | 6,9 | 95 |
| 9 | I | 0 | 175,4 | 8,2 | 95 |
| 9 | VI | 0 | 155,0 | 6,7 | 96 |
| 10 | I | 0 | 155,0 | 7,9 | 95 |

TABLEAU C.12 : ÉVOLUTION DU COT DANS LE SURNAGEANT DE LA LIQUEUR MIXTE DU RBS PENDANT LA PHASE DU RÉACTION DU PREMIER CYCLE LORS DE LA SÉRIE B.

| temps (min) | jour / chitosane (mg/L) | | | |
|----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | 7 / 0 | 8 / 0 | 9 / 15 | 10 / 0 |
| | COT (mg C/L) | COT (mg C/L) | COT (mg C/L) | COT (mg C/L) |
| 0 | 7,3 | 6,7 | 6,9 | 6,7 |
| 15 | 81,5 | 71,4 | 82,9 | 70,6 |
| 45 | 18,1 | 30,1 | 19,4 | 28,2 |
| 75 | 8,6 | 19,8 | 9,3 | 9,5 |
| 105 | 7,9 | 8,1 | 8,5 | 8,9 |
| 165 | 7,6 | 8,8 | 7,9 | 8,2 |

TABLEAU C.13 : ÉVOLUTION JOURNALIÈRE DE LA MVLSS ET LA MLSS DANS LE RBS PENDANT LA SÉRIE B.

| temps (j) | cycle | chitosane (mg/L) | MVLSS (mg/L) | MLSS (mg/L) | MVLSS/MLSS % |
|--------------|-------|---------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| 0 | I | 0 | 2036 | 2966 | 69 |
| 2 | I | 0 | 2034 | 2926 | 70 |
| 3 | I | 0 | 2322 | 3134 | 74 |
| 3 | VI | 0 | 2720 | 3610 | 75 |
| 4 | I | 0 | 2614 | 3434 | 76 |
| 6 | VI | 0 | 3480 | 4298 | 81 |
| 7 | I | 0 | 3468 | 4168 | 83 |
| 7 | VI | 0 | 3578 | 4326 | 83 |
| 8 | I | 0 | 3454 | 4162 | 83 |
| 8 | VI | 15 | 3377 | 4077 | 83 |
| 9 | I | 0 | 3046 | 3692 | 83 |
| 9 | VI | 0 | 3290 | 3854 | 85 |
| 10 | I | 0 | 3106 | 3692 | 84 |

TABLEAU C.14 : ÉVOLUTION JOURNALIÈRE DES NO_3^- DANS L'AFFLUENT ET L'EFFLUENT DU RBS PENDANT LA SÉRIE B.

| temps (j) | cycle | chitosane (mg/L) | NO_3^- aff. (mg N/L) | NO_3^- eff. (mg N/L) |
|--------------|-------|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 0 | I | 0 | 0,9 | 13,9 |
| 3 | I | 0 | 0,9 | 6,7 |
| 4 | I | 0 | 1,3 | 5,9 |
| 7 | I | 0 | 1,4 | 7,6 |
| 8 | I | 0 | 1,7 | 5,9 |
| 8 | VI | 15 | 1,2 | 6,0 |
| 9 | I | 0 | 1,4 | 7,5 |
| 10 | I | 0 | 1,5 | 5,7 |

TABLEAU C.15 : ÉVOLUTION JOURNALIÈRE DE PO_4^{3-} DANS L'AFFLUENT ET L'EFFLUENT DU RBS PENDANT LA SÉRIE B.

| temps (j) | cycle | chitosane (mg/L) | PO_4^{3-} _{aff.} (mg PO_4^{3-} /L) | PO_4^{3-} _{eff.} (mg PO_4^{3-} /L) | E (%) |
|--------------|-------|---------------------|--|--|----------|
| 0 | I | 0 | 11,10 | 6,70 | 40 |
| 1 | I | 0 | 10,80 | 6,60 | 39 |
| 3 | I | 0 | 12,20 | 2,80 | 77 |
| 4 | I | 0 | 11,40 | 1,20 | 90 |
| 7 | I | 0 | 10,70 | 0,80 | 92 |
| 7 | I | 0 | 8,40 | 0,78 | 91 |
| 8 | I | 0 | 8,40 | 0,73 | 91 |
| 8 | VI | 15 | 8,30 | 1,20 | 86 |
| 9 | I | 0 | 10,10 | 1,50 | 85 |
| 9 | VI | 0 | 9,20 | 1,95 | 79 |
| 10 | I | 0 | 8,60 | 1,04 | 88 |

TABLEAU C.16 : ÉVOLUTION DE PO_4^{3-} DANS LE SURNAGEANT DE LA LIQUEUR MIXTE DU RBS PENDANT LA PHASE DE RÉACTION DU PREMIER CYCLE LORS DE LA SÉRIE B.

| temps (min) | jour / chitosane (mg/L) | |
|----------------|--|--|
| | 8 / 0 | 10 / 0 |
| | PO_4^{3-} (mg PO_4^{3-} /L) | PO_4^{3-} (mg PO_4^{3-} /L) |
| 0 | 0,78 | 1,95 |
| 15 | 3,50 | 4,10 |
| 45 | 1,40 | 2,14 |
| 75 | 0,96 | 1,32 |
| 105 | 0,76 | 1,28 |
| 165 | 0,76 | 1,18 |

TABLEAU C.17 : ÉVOLUTION JOURNALIÈRE DE P_t DANS L'AFFLUENT ET L'EFFLUENT DU RBS PENDANT LA SÉRIE B.

| temps (j) | cycle | chitosane (mg/L) | $P_{t\text{ aff.}}$ (mg P/L) | $P_{t\text{ eff.}}$ (mg P/L) | E (%) |
|--------------|-------|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------|
| 0 | I | 0 | 3,6 | 2,50 | 31 |
| 1 | I | 0 | 3,5 | 2,00 | 43 |
| 3 | I | 0 | 4,4 | 1,10 | 75 |
| 4 | I | 0 | 4,2 | 0,86 | 82 |
| 7 | I | 0 | 3,8 | 0,54 | 86 |
| 8 | I | 0 | 2,9 | 0,32 | 89 |
| 8 | VI | 15 | 2,9 | 0,58 | 80 |
| 9 | I | 0 | 3,8 | 0,92 | 76 |
| 10 | I | 0 | 2,8 | 0,72 | 74 |

ANNEXE D

**LES RÉSULTATS DE LA REGRESSION NONLINÉAIRE EFFECTUÉE PAR LE LOGICIEL
DATAFIT 6.1.10**

TABLEAU D.1: SOMMAIRE DES RÉSULTATS DE L'ANALYSE DE RÉGRESSION NONLINÉAIRE EFFECTUÉE PAR LOGICIEL DATAFIT 6.1.10 AFIN D'ÉTABLIR LA RELATION ENTRE LA VITESSE DE DÉCANTATION V_c ET LA CONCENTRATION DE CHITOSANE PENDANT LA SÉRIE D.

| Rank | Model | StdError | Residual Sum | Residual Avg. | RSS | R ² | Ra ² |
|------|-----------------------------|----------|--------------|---------------|----------|----------------|-----------------|
| 1 | 8th order polynomial | 0,424264 | -8,04068E-12 | -8,04068E-13 | 0,18 | 0,99869 | 0,98827 |
| 2 | 7th order polynomial | 0,476907 | 2,44604E-12 | 2,44604E-13 | 0,45488 | 0,99671 | 0,98518 |
| 3 | 6th order polynomial | 0,703810 | -1,67866E-13 | -1,67866E-14 | 1,48605 | 0,98924 | 0,96771 |
| 4 | 5th order polynomial | 1,281319 | -1,03917E-12 | -1,03917E-13 | 6,56712 | 0,95244 | 0,89299 |
| 5 | 4th order polynomial | 1,642687 | -1,19904E-14 | -1,19904E-15 | 13,49211 | 0,90229 | 0,82412 |
| 6 | $a*x^3+b*x^2+c*x+d$ | 1,599675 | -2,22045E-15 | -2,22045E-16 | 15,35376 | 0,88881 | 0,83321 |
| 7 | $a + b*\exp(c*x)$ | 1,591869 | 4,20963E-10 | 4,20963E-11 | 17,73833 | 0,87154 | 0,83484 |
| 8 | $\exp(a+b*x+c*x^2)$ | 1,599282 | -0,167657295 | -0,016765729 | 17,90391 | 0,87034 | 0,83329 |
| 9 | $\exp(a+b*x^2)$ | 1,510844 | 0,105219507 | 0,010521951 | 18,26119 | 0,86775 | 0,85122 |
| 10 | $a*x^2+b*x+c$ | 1,667470 | 6,21725E-15 | 6,21725E-16 | 19,46320 | 0,85905 | 0,81878 |
| 11 | $1/(a+b*x+c*x^2)$ | 1,716897 | 0,765369436 | 0,076536944 | 20,63414 | 0,85057 | 0,80787 |
| 12 | $a/(1+b*x+c*x^2)$ | 1,716897 | 0,765368961 | 0,076536896 | 20,63414 | 0,85057 | 0,80787 |
| 13 | $1/(a+b*x)$ | 1,644725 | -0,550846027 | -0,055084603 | 21,64095 | 0,84328 | 0,82369 |
| 14 | $a/(1+b*x)$ | 1,644725 | -0,550845626 | -0,055084563 | 21,64095 | 0,84328 | 0,82369 |
| 15 | $a + \exp(c*x)$ | 1,687098 | -2,43318E-10 | -2,43318E-11 | 22,77040 | 0,83510 | 0,81448 |
| 16 | $a*\exp(b*x)$ | 1,758369 | 1,679007255 | 0,167900725 | 24,73490 | 0,82087 | 0,79848 |
| 17 | $a*b^x$ | 1,758369 | 1,679007145 | 0,167900715 | 24,73490 | 0,82087 | 0,79848 |
| 18 | $\exp(a+b*x)$ | 1,758369 | 1,679006839 | 0,167900684 | 24,73490 | 0,82087 | 0,79848 |
| 19 | $1/(a+c*x^2)$ | 1,795078 | -1,533725457 | -0,153372546 | 25,77844 | 0,81331 | 0,78998 |
| 20 | $x/(a+b*x+c*\text{sqr}(x))$ | 2,005764 | 2,555846896 | 0,25558469 | 28,16163 | 0,79605 | 0,73778 |
| 21 | $x/(a*x+b)$ | 2,076329 | 5,682213169 | 0,568221317 | 34,48912 | 0,75023 | 0,71901 |
| 22 | $a*(1+x)^b$ | 2,117486 | 4,098990714 | 0,409899071 | 35,86998 | 0,74023 | 0,70776 |
| 23 | $\exp(-a*x^2)$ | 2,292812 | 14,09234766 | 1,409234766 | 47,31287 | 0,65736 | 0,65736 |
| 24 | $a*x+b$ | 2,488461 | -3,55271E-15 | -3,55271E-16 | 49,53949 | 0,64124 | 0,59639 |
| 25 | $a*(x-b)$ | 2,488461 | -6,21725E-15 | -6,21725E-16 | 49,53949 | 0,64124 | 0,59639 |
| 26 | $a+b*\cos(x)+c*\sin(x)$ | 2,666792 | 1,42109E-14 | 1,42109E-15 | 49,78246 | 0,63948 | 0,53647 |
| 27 | $a*x/(b+x)$ | 2,504094 | 1,251731935 | 0,125173194 | 50,16389 | 0,63671 | 0,59130 |
| 28 | $a*b*x/(1+b*x)$ | 2,509974 | 1,249534368 | 0,124953437 | 50,39975 | 0,63501 | 0,58938 |
| 29 | $\exp(x-a)$ | 2,749313 | 17,37842838 | 1,737842838 | 68,02849 | 0,50734 | 0,50734 |
| 30 | $\log(x-a)$ | 3,912342 | 0,164098467 | 0,016409847 | 137,7577 | 0,00236 | 0,00236 |
| 31 | $a*\exp(-(x-b)^2)/(2*c^2)$ | 4,441428 | 2,01202E-06 | 2,01202E-07 | 138,0840 | 0,00000 | 0,00000 |

MODÈLES PLAUSIBLES POUR DÉCRIRE LA RELATION ENTRE LA VITESSE DE DÉCANTATION V_c ET LA CONCENTRATION DE CHITOSANE PENDANT LA SÉRIE D.

DataFit version 6.1.10

Equation ID: $a + b \cdot \exp(c \cdot x)$

Number of observations = 9

Number of missing observations = 0

Solver type: Nonlinear

Nonlinear iteration limit = 250

Diverging nonlinear iteration limit = 10

Number of nonlinear iterations performed = 9

Residual tolerance = 0.000000001

Sum of Residuals = 4.20962820157911E-10

Average Residual = 4.20962820157911E-11

Residual Sum of Squares (Absolute) = 17.738327790444

Residual Sum of Squares (Relative) = 17.738327790444

Standard Error of the Estimate = 1.59186897300195

Coefficient of Multiple Determination (R^2) = 0.8715395861

Proportion of Variance Explained = 87.15395861%

Adjusted coefficient of multiple determination (R_a^2) = 0.8348366107

Durbin-Watson statistic = 2.59998020349209

Regression Variable Results

| Variable | Value | Standard Error | t-ratio | Prob(t) |
|----------|-------------|----------------|-------------|---------|
| a | 2,519483703 | 1,1265282 | 2,236503003 | 0.06667 |
| b | 0,154150338 | 0,254674026 | 0,605284884 | 0.56716 |
| c | 0,857580108 | 0,326785137 | 2,624293489 | 0.03936 |

90% Confidence Intervals

| Variable | Value | 90% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 2,519483703 | 2,189069599 | 0,330414104 | 4,708553302 |
| b | 0,154150338 | 0,494882568 | -0,340732229 | 0,649032906 |
| c | 0,857580108 | 0,635008879 | 0,222571229 | 1,492588987 |

95% Confidence Intervals

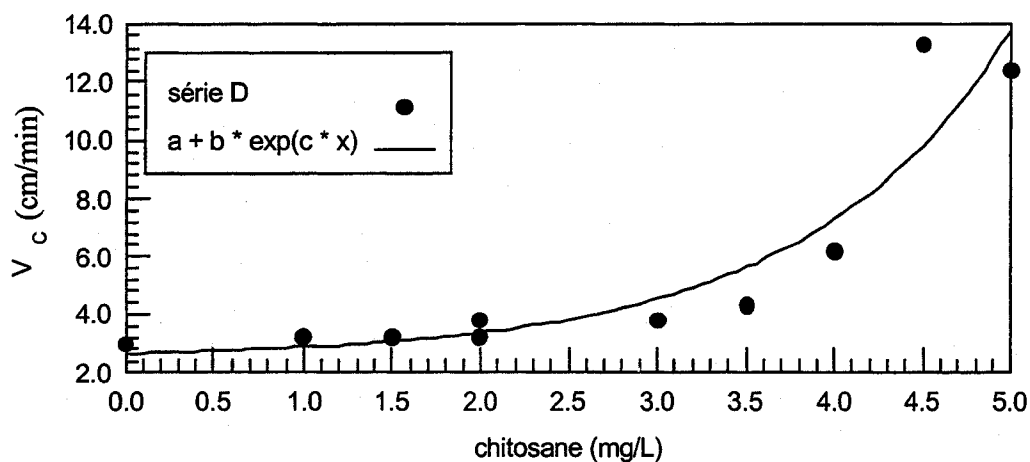
| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 2,519483703 | 2,756501853 | -0,23701815 | 5,275985556 |
| b | 0,154150338 | 0,623161875 | -0,469011536 | 0,777312213 |
| c | 0,857580108 | 0,799610552 | 0,057969556 | 1,657190661 |

99% Confidence Intervals

| Variable | Value | 99% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 2,519483703 | 4,17649065 | -1,657006947 | 6,695974353 |
| b | 0,154150338 | 0,944178485 | -0,790028146 | 1,098328823 |
| c | 0,857580108 | 1,211523218 | -0,35394311 | 2,069103326 |

Variance Analysis

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob(F) |
|------------|----|----------------|-------------|-------------|---------|
| Regression | 2 | 120,3456722 | 60,1728361 | 20,35349785 | 0,00212 |
| Error | 6 | 17,73832779 | 2,956387965 | | |
| Total | 8 | 138,084 | | | |



Equation ID: $\exp(a+b*x+c*x^2)$

Sum of Residuals = -0.167657294617678

Average Residual = -1.67657294617678E-02

Residual Sum of Squares (Absolute) = 17.9039134101475

Residual Sum of Squares (Relative) = 17.9039134101475

Standard Error of the Estimate = 1.59928168742575

Coefficient of Multiple Determination (R^2) = 0.8703404203

Proportion of Variance Explained = 87.03404203%

Adjusted coefficient of multiple determination (R_a^2) = 0.833294826

Durbin-Watson statistic = 2.62097068113898

Regression Variable Results

| Variable | Value | Standard Error | t-ratio | Prob(t) |
|----------|--------------|----------------|--------------|---------|
| a | 1,096445305 | 0,436698895 | 2,510758138 | 0.04586 |
| b | -0,111580354 | 0,291971755 | -0,382161465 | 0.71551 |
| c | 0,083264398 | 0,04558153 | 1,826713528 | 0.11752 |

90% Confidence Intervals

| Variable | Value | 90% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 1,096445305 | 0,848593293 | 0,247852012 | 1,945038599 |
| b | -0,111580354 | 0,567359515 | -0,678939868 | 0,455779161 |
| c | 0,083264398 | 0,08857403 | -0,005309632 | 0,171838427 |

95% Confidence Intervals

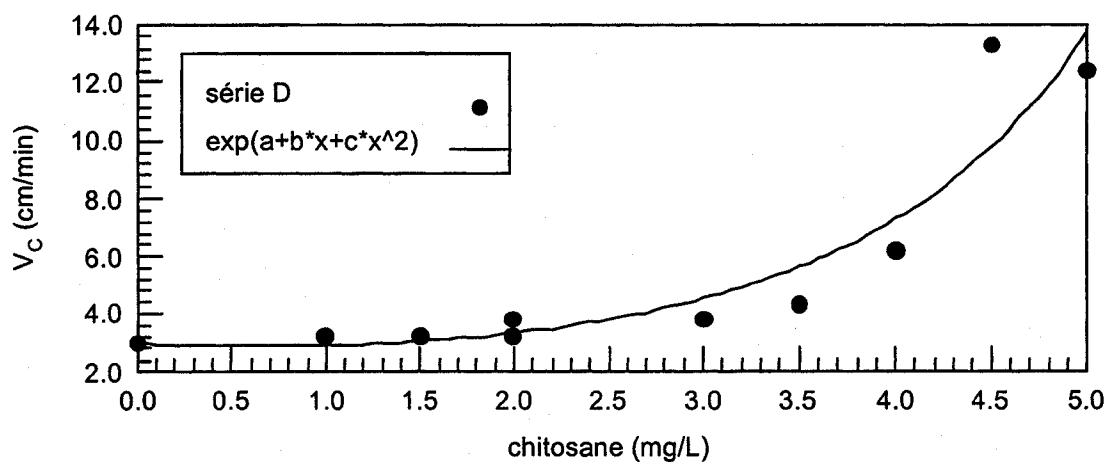
| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 1,096445305 | 1,068558527 | 0,027886778 | 2,165003832 |
| b | -0,111580354 | 0,714425688 | -0,826006041 | 0,602845334 |
| c | 0,083264398 | 0,111533446 | -0,028269048 | 0,194797844 |

99% Confidence Intervals

| Variable | Value | 99% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 1,096445305 | 1,619017485 | -0,522572179 | 2,71546279 |
| b | -0,111580354 | 1,082456085 | -1,194036439 | 0,970875731 |
| c | 0,083264398 | 0,168988965 | -0,085724567 | 0,252253363 |

Variance Analysis

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob(F) |
|------------|----|----------------|-------------|-------------|---------|
| Regression | 2 | 120,1800866 | 60,09004329 | 20,13751136 | 0,00218 |
| Error | 6 | 17,90391341 | 2,983985568 | | |
| Total | 8 | 138,084 | | | |



Equation ID: $\exp(a+b*x^2)$

Sum of Residuals = 0.105219506576745

Average Residual = 1.05219506576745E-02

Residual Sum of Squares (Absolute) = 18.2611911014554

Residual Sum of Squares (Relative) = 18.2611911014554

Standard Error of the Estimate = 1.51084376680116

Coefficient of Multiple Determination (R^2) = 0.8677530264

Proportion of Variance Explained = 86.77530264%

Adjusted coefficient of multiple determination (R_a^2) = 0.8512221547

Durbin-Watson statistic = 2.49382919045773

Regression Variable Results

| Variable | Value | Standard Error | t-ratio | Prob(t) |
|----------|-------------|----------------|-------------|---------|
| a | 0,938030605 | 0,199176512 | 4,709544282 | 0.00152 |
| b | 0,066821939 | 0,009914965 | 6,739502968 | 0.00015 |

90% Confidence Intervals

| Variable | Value | 90% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| a | 0,938030605 | 0,370368725 | 0,56766188 | 1,308399329 |
| b | 0,066821939 | 0,018436878 | 0,048385061 | 0,085258818 |

95% Confidence Intervals

| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| a | 0,938030605 | 0,459301037 | 0,478729567 | 1,397331642 |
| b | 0,066821939 | 0,02286391 | 0,043958029 | 0,08968585 |

99% Confidence Intervals

| Variable | Value | 99% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| a | 0,938030605 | 0,668316869 | 0,269713735 | 1,606347474 |
| b | 0,066821939 | 0,033268675 | 0,033553264 | 0,100090615 |

Variance Analysis

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob(F) |
|------------|----|----------------|-------------|------------|---------|
| Regression | 1 | 119,8228089 | 119,8228089 | 52,4928777 | 0,00009 |
| Error | 8 | 18,2611911 | 2,282648888 | | |
| Total | 9 | 138,084 | | | |

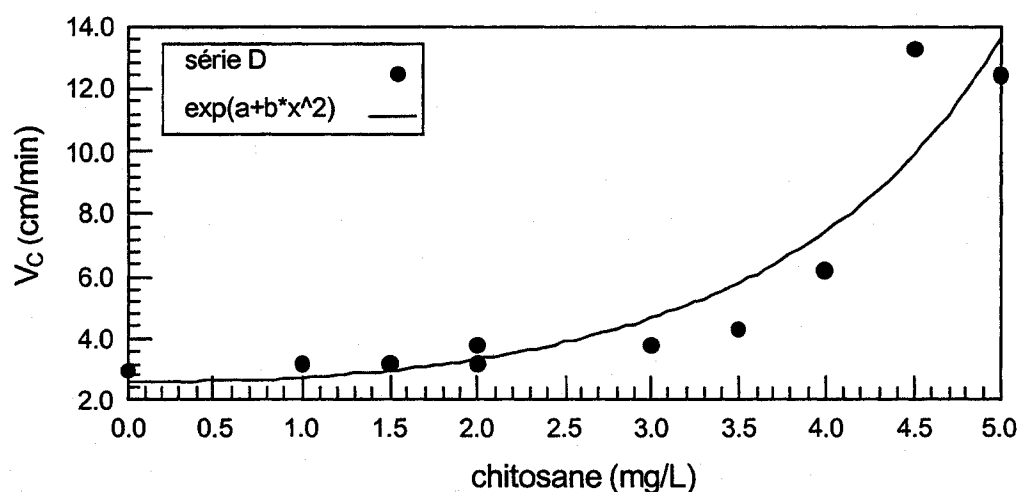


TABLEAU D.2 : SOMMAIRE DES RÉSULTATS DE L'ANALYSE DE RÉGRESSION NONLINÉAIRE EFFECTUÉE PAR LOGICIEL DATAFIT 6.1.10 AFIN D'ÉTABLIR LA RELATION ENTRE L'IVB_c ET LA CONCENTRATION DE CHITOSANE PENDANT LA SÉRIE D.

| Rank | Model | StdError | Residual Sum | Residual Avg. | RSS | R ² | Ra ² |
|------|----------------------------|-----------|--------------|---------------|----------|----------------|-----------------|
| 1 | 8th order polynomial | 5,656854 | -7,83871E-11 | -7,83871E-12 | 32,0000 | 0,9747 | 0,7727 |
| 2 | 7th order polynomial | 4,048535 | -8,94573E-11 | -8,94573E-12 | 32,7813 | 0,9741 | 0,8836 |
| 3 | 6th order polynomial | 3,468498 | 2,55795E-13 | 2,55795E-14 | 36,0914 | 0,9715 | 0,9145 |
| 4 | 5th order polynomial | 3,152544 | 5,82645E-13 | 5,82645E-14 | 39,7541 | 0,9686 | 0,9294 |
| 5 | 4th order polynomial | 4,014808 | -1,54898E-12 | -1,54898E-13 | 80,5934 | 0,9364 | 0,8855 |
| 6 | $a*x^3+b*x^2+c*x+d$ | 3,671251 | 1,42109E-14 | 1,42109E-15 | 80,8685 | 0,9362 | 0,9043 |
| 7 | $1/(a+b*x+c*x^2)$ | 3,415907 | 0,009703084 | 0,000970308 | 81,6790 | 0,9355 | 0,9171 |
| 8 | $a/(1+b*x+c*x^2)$ | 3,415907 | 0,009703084 | 0,000970308 | 81,6790 | 0,9355 | 0,9171 |
| 9 | $\exp(a+b*x+c*x^2)$ | 3,447731 | 0,01522126 | 0,001522126 | 83,2079 | 0,9343 | 0,9156 |
| 10 | $a*\exp(-(x-b)^2/c)$ | 3,447731 | 0,015221258 | 0,001522126 | 83,2079 | 0,9343 | 0,9156 |
| 11 | $a*\exp(-(x-b)^2/(2*c^2))$ | 3,447731 | 0,015221254 | 0,001522125 | 83,2079 | 0,9343 | 0,9156 |
| 12 | $a*x^2+b*x+c$ | 3,506207 | -5,68434E-14 | -5,68434E-15 | 86,0544 | 0,9321 | 0,9127 |
| 13 | $a + b*\exp(c*x)$ | 3,559843 | -2,1879E-10 | -2,1879E-11 | 88,7074 | 0,9300 | 0,9100 |
| 14 | $a*x+b$ | 3,783599 | 1,98952E-13 | 1,98952E-14 | 114,5250 | 0,9096 | 0,8983 |
| 15 | $a*(x-b)$ | 3,783599 | 1,84741E-13 | 1,84741E-14 | 114,5250 | 0,9096 | 0,8983 |
| 16 | $a*\exp(b*x)$ | 4,177662 | -0,166009265 | -0,016600927 | 139,6229 | 0,8898 | 0,8760 |
| 17 | $\exp(a+b*x)$ | 4,177662 | -0,166009371 | -0,016600937 | 139,6229 | 0,8898 | 0,8760 |
| 18 | $a*b^x$ | 4,177662 | -0,166009265 | -0,016600926 | 139,6229 | 0,8898 | 0,8760 |
| 19 | $1/(a+b*x)$ | 4,640021 | -0,40494499 | -0,040494499 | 172,2384 | 0,8640 | 0,8471 |
| 20 | $a/(1+b*x)$ | 4,640021 | -0,404944919 | -0,040494492 | 172,2384 | 0,8640 | 0,8471 |
| 21 | $a+b*\cos(x)+c*\sin(x)$ | 6,345254 | -1,42109E-14 | -1,42109E-15 | 281,8357 | 0,7775 | 0,7140 |
| 22 | $a*(1+x)^b$ | 6,622377 | -0,310710518 | -0,031071052 | 350,8470 | 0,7231 | 0,6884 |
| 23 | $\log(x-a)$ | 11,864513 | 9,86233E-12 | 9,86233E-13 | 1266,900 | 0,0000 | 0,0000 |
| 24 | $a*x/(b+x)$ | 79,859267 | 580,63149 | 58,063149 | 51020,02 | 0,0000 | 0,0000 |
| 25 | $x/(a+b*x+c*\sqrt{x})$ | 87,590629 | 577,7791746 | 57,77791746 | 53704,83 | 0,0000 | 0,0000 |
| 26 | $\exp(x-a)$ | 77,433161 | 571,0150304 | 57,10150304 | 53963,05 | 0,0000 | 0,0000 |
| 27 | $1/(a + c*x^2)$ | 83,117639 | 646,4550515 | 64,64550515 | 55268,34 | 0,0000 | 0,0000 |
| 28 | $x/(a*x+b)$ | 84,438540 | 648,9940891 | 64,89940891 | 57038,94 | 0,0000 | 0,0000 |
| 29 | $\exp(a+ b*x^2)$ | 84,546165 | 381,7176059 | 38,17176059 | 57184,43 | 0,0000 | 0,0000 |
| 30 | $\exp(-a*x^2)$ | 82,342872 | 688,2426904 | 68,82426904 | 61023,14 | 0,0000 | 0,0000 |
| 31 | $a/(1+ b*x^2)$ | 90,415015 | 761 | 76,1 | 65399,00 | 0,0000 | 0,0000 |
| 32 | $x/(a+b*x-c*x^2)$ | 97,093504 | 764,0002471 | 76,40002471 | 65990,04 | 0,0000 | 0,0000 |
| 33 | $1/(1+a*x)$ | 86,852077 | 775,0266296 | 77,50266296 | 67889,55 | 0,0000 | 0,0000 |

MODÈLES PLAUSIBLES POUR DÉCRIRE LA RELATION ENTRE L'IVB_c ET LA CONCENTRATION DE CHITOSANE PENDANT LA SÉRIE D.

DataFit version 6.1.10

Equation ID: 1/(a+b*x+c*x^2)

Number of observations = 10

Number of missing observations = 0

Solver type: Nonlinear

Nonlinear iteration limit = 250

Diverging nonlinear iteration limit = 10

Number of nonlinear iterations performed = 3

Residual tolerance = 0.0000000001

Sum of Residuals = 9.70308406368758E-03

Average Residual = 9.70308406368758E-04

Residual Sum of Squares (Absolute) = 81.6789640507426

Residual Sum of Squares (Relative) = 81.6789640507426

Standard Error of the Estimate = 3.41590741031141

Coefficient of Multiple Determination (R^2) = 0.9355284837

Proportion of Variance Explained = 93.55284837%

Adjusted coefficient of multiple determination (Ra^2) = 0.9171080504

Durbin-Watson statistic = 2.50496237094793

Regression Variable Results

| Variable | Value | Standard Error | t-ratio | Prob(t) |
|----------|-------------|----------------|-------------|---------|
| a | 0,009937361 | 0,000311432 | 31,90859577 | 0.0 |
| b | 8,49982E-05 | 0,000309313 | 0,274796656 | 0.79141 |
| c | 0,000176074 | 6,50367E-05 | 2,707306809 | 0.03032 |

90% Confidence Intervals

| Variable | Value | 90% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 0,009937361 | 0,000590039 | 0,009347322 | 0,0105274 |
| b | 8,49982E-05 | 0,000586024 | -0,000501026 | 0,000671023 |
| c | 0,000176074 | 0,000123219 | 5,28558E-05 | 0,000299293 |

95% Confidence Intervals

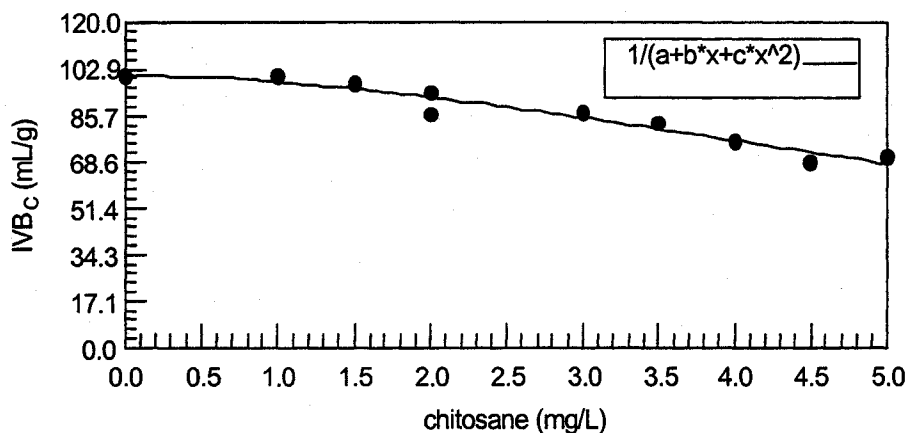
| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 0,009937361 | 0,000736412 | 0,009200949 | 0,010673773 |
| b | 8,49982E-05 | 0,000731402 | -0,000646403 | 0,0008164 |
| c | 0,000176074 | 0,000153786 | 2,22885E-05 | 0,00032986 |

99% Confidence Intervals

| Variable | Value | 99% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 0,009937361 | 0,001089857 | 0,008847504 | 0,011027218 |
| b | 8,49982E-05 | 0,001082441 | -0,000997443 | 0,001167439 |
| c | 0,000176074 | 0,000227596 | -5,15216E-05 | 0,00040367 |

Variance Analysis

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob(F) |
|------------|----|----------------|-------------|-------------|---------|
| Regression | 2 | 1185,221036 | 592,610518 | 50,78753966 | 0,00007 |
| Error | 7 | 81,67896405 | 11,66842344 | | |
| Total | 9 | 1266,9 | | | |



Equation ID: $\exp(a+b*x+c*x^2)$

Sum of Residuals = -0.167657294617678

Average Residual = -1.67657294617678E-02

Residual Sum of Squares (Absolute) = 17.9039134101475

Residual Sum of Squares (Relative) = 17.9039134101475

Standard Error of the Estimate = 1.59928168742575

Coefficient of Multiple Determination (R^2) = 0.8703404203

Proportion of Variance Explained = 87.03404203%

Adjusted coefficient of multiple determination (R_a^2) = 0.833294826

Durbin-Watson statistic = 2.62097068113898

Regression Variable Results

| Variable | Value | Standard Error | t-ratio | Prob(t) |
|----------|--------------|----------------|--------------|---------|
| a | 1,096445305 | 0,436698895 | 2,510758138 | 0.04586 |
| b | -0,111580354 | 0,291971755 | -0,382161465 | 0.71551 |
| c | 0,083264398 | 0,04558153 | 1,826713528 | 0.11752 |

90% Confidence Intervals

| Variable | Value | 90% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 1,096445305 | 0,848593293 | 0,247852012 | 1,945038599 |
| b | -0,111580354 | 0,567359515 | -0,678939868 | 0,455779161 |
| c | 0,083264398 | 0,08857403 | -0,005309632 | 0,171838427 |

95% Confidence Intervals

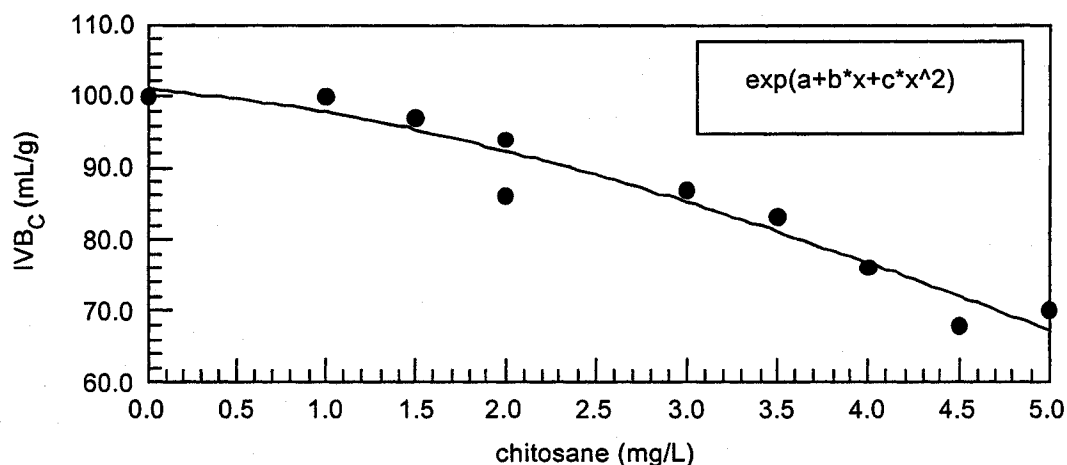
| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 1,096445305 | 1,068558527 | 0,027886778 | 2,165003832 |
| b | -0,111580354 | 0,714425688 | -0,826006041 | 0,602845334 |
| c | 0,083264398 | 0,111533446 | -0,028269048 | 0,194797844 |

99% Confidence Intervals

| Variable | Value | 99% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 1,096445305 | 1,619017485 | -0,522572179 | 2,71546279 |
| b | -0,111580354 | 1,082456085 | -1,194036439 | 0,970875731 |
| c | 0,083264398 | 0,168988965 | -0,085724567 | 0,252253363 |

Variance Analysis

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob(F) |
|------------|----|----------------|-------------|-------------|---------|
| Regression | 2 | 120,1800866 | 60,09004329 | 20,13751136 | 0,00218 |
| Error | 6 | 17,90391341 | 2,983985568 | | |
| Total | 8 | 138,084 | | | |



Equation ID: $a \cdot \exp(-(x-b)^2 / (2 \cdot c^2))$

Sum of Residuals = 1.52212537411174E-02

Average Residual = 1.52212537411174E-03

Residual Sum of Squares (Absolute) = 83.2079248950089

Residual Sum of Squares (Relative) = 83.2079248950089

Standard Error of the Estimate = 3.4477306178953

Coefficient of Multiple Determination (R^2) = 0.9343216316

Proportion of Variance Explained = 93.43216316%

Adjusted coefficient of multiple determination (R_a^2) = 0.9155563835

Durbin-Watson statistic = 2.46844421175615

Regression Variable Results

| Variable | Value | Standard Error | t-ratio | Prob(t) |
|----------|--------------|----------------|--------------|---------|
| a | 101,7722574 | 5,616910256 | 18,11890394 | 0.0 |
| b | -0,815465175 | 1,54227399 | -0,528742092 | 0.61333 |
| c | 6,394936771 | 1,483871579 | 4,309629528 | 0.00352 |

90% Confidence Intervals

| Variable | Value | 90% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 101,7722574 | 10,64179817 | 91,13045918 | 112,4140555 |
| b | -0,815465175 | 2,921992302 | -3,737457477 | 2,106527126 |
| c | 6,394936771 | 2,811343093 | 3,583593679 | 9,206279864 |

95% Confidence Intervals

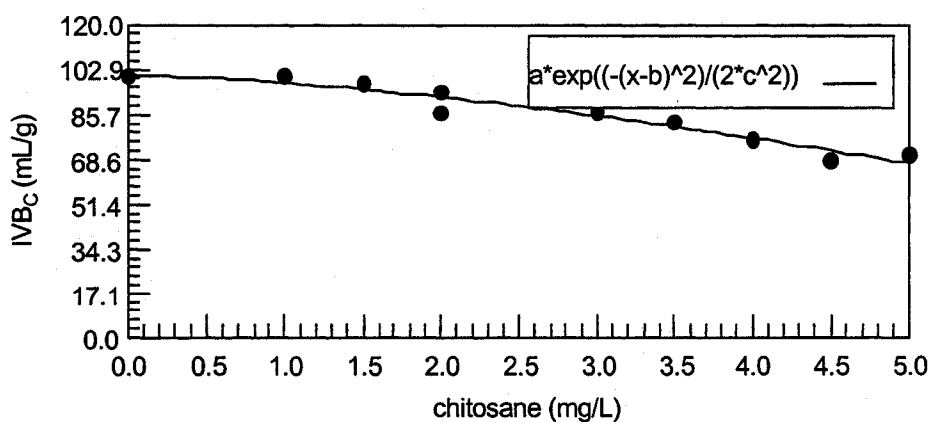
| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 101,7722574 | 13,28174599 | 88,49051136 | 115,0540033 |
| b | -0,815465175 | 3,646861077 | -4,462326252 | 2,831395902 |
| c | 6,394936771 | 3,508762735 | 2,886174037 | 9,903699506 |

99% Confidence Intervals

| Variable | Value | 99% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 101,7722574 | 19,65637744 | 82,11587991 | 121,4286348 |
| b | -0,815465175 | 5,397187828 | -6,212653004 | 4,581722653 |
| c | 6,394936771 | 5,192808589 | 1,202128182 | 11,58774536 |

Variance Analysis

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob(F) |
|------------|----|----------------|-------------|-------------|---------|
| Regression | 2 | 1183,692075 | 591,8460376 | 49,78999618 | 0,00007 |
| Error | 7 | 83,2079249 | 11,88684641 | | |
| Total | 9 | 1266,9 | | | |



Equation ID: $a + b \cdot \exp(c \cdot x)$

Sum of Residuals = -2.1879031919525E-10

Average Residual = -2.1879031919525E-11

Residual Sum of Squares (Absolute) = 88.707350800258

Residual Sum of Squares (Relative) = 88.707350800258

Standard Error of the Estimate = 3.55984250856005

Coefficient of Multiple Determination (R^2) = 0.9299807792

Proportion of Variance Explained = 92.99807792%

Adjusted coefficient of multiple determination (R_a^2) = 0.9099752876

Durbin-Watson statistic = 2.41036008294506

Regression Variable Results

| Variable | Value | Standard Error | t-ratio | Prob(t) |
|----------|--------------|----------------|--------------|---------|
| a | 121,9313195 | 27,11078161 | 4,497521366 | 0.00281 |
| b | -20,05401949 | 24,76480201 | -0,809779116 | 0.44472 |
| c | 0,201320463 | 0,154890917 | 1,299756412 | 0.23485 |

90% Confidence Intervals

| Variable | Value | 90% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 121,9313195 | 51,36408683 | 70,5672327 | 173,2954064 |
| b | -20,05401949 | 46,9193939 | -66,97341338 | 26,86537441 |
| c | 0,201320463 | 0,293456332 | -0,092135869 | 0,494776794 |

95% Confidence Intervals

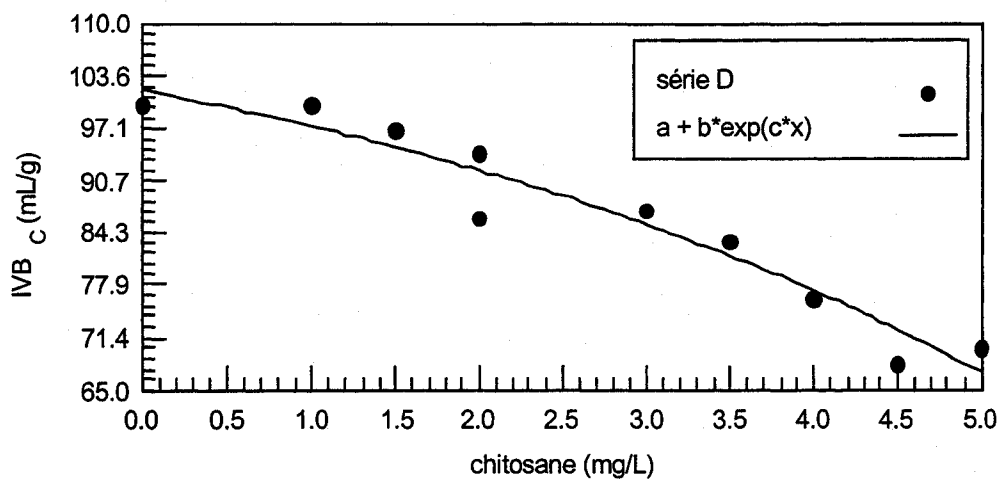
| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 121,9313195 | 64,10615419 | 57,82516535 | 186,0374737 |
| b | -20,05401949 | 58,55885084 | -78,61287033 | 38,50483136 |
| c | 0,201320463 | 0,366255063 | -0,1649346 | 0,567575525 |

99% Confidence Intervals

| Variable | Value | 99% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 121,9313195 | 94,87418023 | 27,0571393 | 216,8054998 |
| b | -20,05401949 | 86,66442465 | -106,7184441 | 66,61040516 |
| c | 0,201320463 | 0,542040765 | -0,340720302 | 0,743361227 |

Variance Analysis

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob(F) |
|------------|----|----------------|-------------|-------------|---------|
| Regression | 2 | 1178,192649 | 589,0963246 | 46,48627464 | 0,00009 |
| Error | 7 | 88,7073508 | 12,67247869 | | |
| Total | 9 | 1266,9 | | | |



Equation ID: $a \cdot x + b$

Sum of Residuals = 1.98951966012828E-13

Average Residual = 1.98951966012828E-14

Residual Sum of Squares (Absolute) = 114.524973432518

Residual Sum of Squares (Relative) = 114.524973432518

Standard Error of the Estimate = 3.78359903782956

Coefficient of Multiple Determination (R^2) = 0.9096021995

Proportion of Variance Explained = 90.96021995%

Adjusted coefficient of multiple determination (R_a^2) = 0.8983024745

Durbin-Watson statistic = 2.09971887498559

Regression Variable Results

| Variable | Value | Standard Error | t-ratio | Prob(t) |
|----------|--------------|----------------|--------------|---------|
| a | -6,998937301 | 0,78008206 | -8,972052633 | 0.00002 |
| b | 104,6471838 | 2,388503756 | 43,81286134 | 0.0 |

90% Confidence Intervals

| Variable | Value | 90% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| a | -6,998937301 | 1,450562591 | -8,449499891 | -5,54837471 |
| b | 104,6471838 | 4,441422734 | 100,2057611 | 109,0886066 |

95% Confidence Intervals

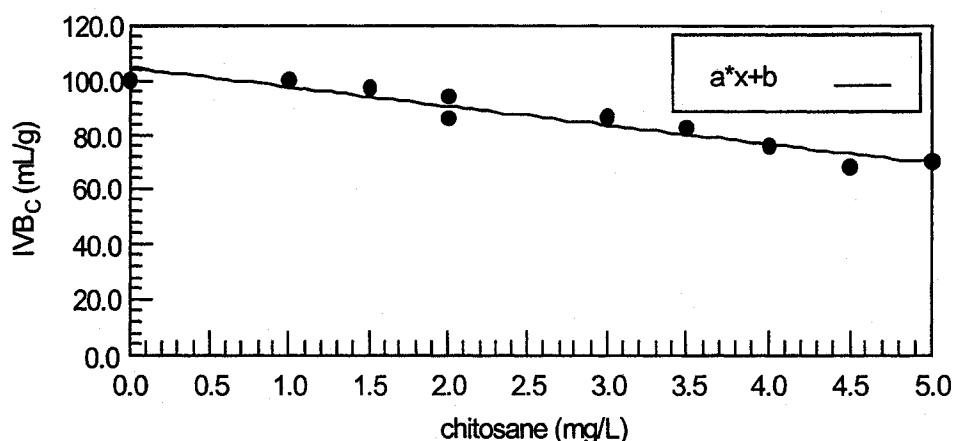
| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| a | -6,998937301 | 1,79886923 | -8,797806531 | -5,20006807 |
| b | 104,6471838 | 5,507889661 | 99,13929419 | 110,1550735 |

99% Confidence Intervals

| Variable | Value | 99% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| a | -6,998937301 | 2,617487344 | -9,616424645 | -4,381449957 |
| b | 104,6471838 | 8,014385502 | 96,63279835 | 112,6615693 |

Variance Analysis

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob(F) |
|------------|----|----------------|-------------|-------------|---------|
| Regression | 1 | 1152,375027 | 1152,375027 | 80,49772845 | 0,00002 |
| Error | 8 | 114,5249734 | 14,31562168 | | |
| Total | 9 | 1266,9 | | | |



Equation ID: $a \cdot \exp(-x^2/c)$

Sum of Residuals = 5.90221643446114E-02

Average Residual = 5.90221643446114E-03

Residual Sum of Squares (Absolute) = 88.8780345151997

Residual Sum of Squares (Relative) = 88.8780345151997

Standard Error of the Estimate = 3.33312980761325

Coefficient of Multiple Determination (R^2) = 0.9298460537

Proportion of Variance Explained = 92.98460537%

Adjusted coefficient of multiple determination (R_a^2) = 0.9210768105

Durbin-Watson statistic = 2.25650054085252

Regression Variable Results

| Variable | Value | Standard Error | t-ratio | Prob(t) |
|----------|------------|----------------|-------------|---------|
| a | 99,1695569 | 1,693930615 | 58,54404898 | 0.0 |
| c | 62,5602765 | 6,363315648 | 9,831396072 | 0.00001 |

90% Confidence Intervals

| Variable | Value | 90% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|------------|-------------|-------------|-------------|
| a | 99,1695569 | 3,149863979 | 96,01969294 | 102,319421 |
| c | 62,5602765 | 11,83258545 | 50,72769102 | 74,3928619 |

95% Confidence Intervals

| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|------------|-------------|-------------|-------------|
| a | 99,1695569 | 3,906203999 | 95,26335292 | 103,075761 |
| c | 62,5602765 | 14,67380589 | 47,88647058 | 77,2340824 |

99% Confidence Intervals

| Variable | Value | 99% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|------------|-------------|-------------|-------------|
| a | 99,1695569 | 5,683814787 | 93,48574214 | 104,853372 |
| c | 62,5602765 | 21,35146933 | 41,20880714 | 83,9117458 |

Variance Analysis

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob(F) |
|------------|----|----------------|-------------|------------|---------|
| Regression | 1 | 1178,021965 | 1178,021965 | 106,034925 | 0,00001 |
| Error | 8 | 88,87803452 | 11,10975431 | | |
| Total | 9 | 1266,9 | | | |

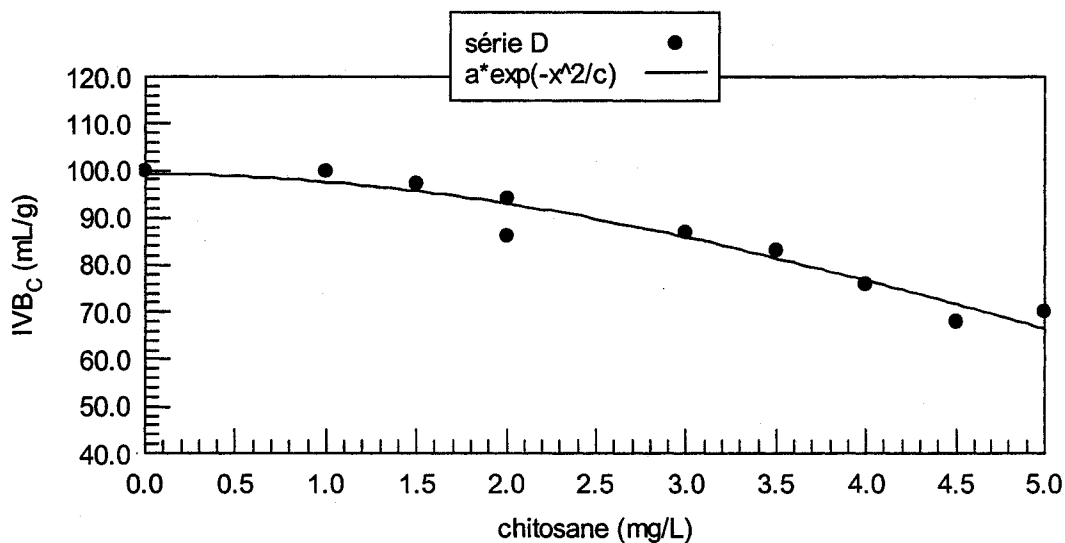


TABLEAU D.3 : SOMMAIRE DES RÉSULTATS DE L'ANALYSE DE RÉGRESSION NONLINÉAIRE EFFECTUÉE PAR DATAFIT 6.1.10 AFIN D'ÉTABLIR LA RELATION ENTRE LE CHANGEMENT RELATIF DE LA VITESSE DE DÉCANTATION ET LA CONCENTRATION DE CHITOSANE POUR LES SÉRIES B,C,D.

| Rank | Model | StdError | Residual Sum | Residual Avg. | RSS | R ² | Ra ² |
|------|-----------------------------|----------|--------------|---------------|----------|----------------|-----------------|
| 1 | Tenth order polynomial | 0,277240 | -7,94562E-09 | -4,1819E-10 | 0,61490 | 0,99245 | 0,98302 |
| 2 | Ninth order polynomial | 0,429449 | 1,61875E-09 | 8,51976E-11 | 1,65984 | 0,97963 | 0,95925 |
| 3 | Eighth order polynomial | 0,448387 | -2,0782E-11 | -1,09379E-12 | 2,01051 | 0,97532 | 0,95558 |
| 4 | 7th order polynomial | 0,427569 | 2,10998E-12 | 1,11052E-13 | 2,01097 | 0,97532 | 0,95961 |
| 5 | 6th order polynomial | 0,509383 | -2,20919E-11 | -1,16273E-12 | 3,11365 | 0,96178 | 0,94267 |
| 6 | 5th order polynomial | 0,661116 | -1,62093E-14 | -8,53119E-16 | 5,68197 | 0,93025 | 0,90343 |
| 7 | 4th order polynomial | 0,642743 | -1,39888E-14 | -7,36253E-16 | 5,78367 | 0,92901 | 0,90872 |
| 8 | $a*x^3+b*x^2+c*x+d$ | 0,630050 | 4,44089E-16 | 2,33731E-17 | 5,95445 | 0,92691 | 0,91229 |
| 9 | $\exp(a+b*x+c*x^2)$ | 0,631098 | 0,14225599 | 0,007487157 | 6,37255 | 0,92178 | 0,91200 |
| 10 | $a*\exp(-(x-b)^2)/(2*c^2))$ | 0,631098 | 0,14225601 | 0,007487158 | 6,37255 | 0,92178 | 0,91200 |
| 11 | $a/(1+b*x+c*x^2)$ | 0,707315 | -1,009872565 | -0,053151188 | 8,00470 | 0,90174 | 0,88946 |
| 12 | $1/(a+b*x+c*x^2)$ | 0,707315 | -1,009872517 | -0,053151185 | 8,00470 | 0,90174 | 0,88946 |
| 13 | $x/(a+b*x+c*\sqrt{x})$ | 0,751166 | 3,097648295 | 0,163034121 | 9,02801 | 0,88918 | 0,87533 |
| 14 | $a*x^2+b*x+c$ | 0,772513 | -6,66134E-15 | -3,50597E-16 | 9,54842 | 0,88279 | 0,86814 |
| 15 | $a*x+b$ | 0,757801 | -5,77316E-15 | -3,03851E-16 | 9,76245 | 0,88017 | 0,87312 |
| 16 | $a*(x-b)$ | 0,757801 | -4,44089E-15 | -2,33731E-16 | 9,76245 | 0,88017 | 0,87312 |
| 17 | $a*(1+x)^b$ | 0,758900 | -0,192441048 | -0,010128476 | 9,79079 | 0,87982 | 0,87275 |
| 18 | $x/(a*x+b)$ | 0,766672 | 1,281497648 | 0,067447245 | 9,99236 | 0,87735 | 0,87013 |
| 19 | $a*b*x/(1+b*x)$ | 0,766672 | 1,28149817 | 0,067447272 | 9,99236 | 0,87735 | 0,87013 |
| 20 | $a*x/(b+x)$ | 0,766672 | 1,281498187 | 0,067447273 | 9,99236 | 0,87735 | 0,87013 |
| 21 | $a*\exp(b*x)$ | 1,044290 | -1,666737205 | -0,087723011 | 18,53922 | 0,77243 | 0,75905 |
| 22 | $a*b^x$ | 1,044290 | -1,666737329 | -0,087723017 | 18,53922 | 0,77243 | 0,75905 |
| 23 | $\exp(a+b*x)$ | 1,044290 | -1,666735841 | -0,087722939 | 18,53922 | 0,77243 | 0,75905 |
| 24 | $\exp(-a*x^2)$ | 1,673389 | 16,14701953 | 0,849843133 | 50,40416 | 0,38130 | 0,38130 |
| 25 | $\log(x-a)$ | 1,841346 | 8,309017202 | 0,437316695 | 61,02997 | 0,25087 | 0,25087 |
| 26 | $a+b*\cos(x)+c*\sin(x)$ | 2,102993 | -1,77636E-15 | -9,34925E-17 | 70,76129 | 0,13142 | 0,02284 |
| 27 | $a/(1+b*x)$ | 2,626057 | 25,92128373 | 1,364278091 | 117,2349 | 0 | 0 |
| 28 | $1/(a+b*x)$ | 2,626063 | 25,98287096 | 1,367519524 | 117,2354 | 0 | 0 |
| 29 | $1-\exp(-a*b^x)$ | 2,670872 | 27,52215296 | 1,448534366 | 121,2704 | 0 | 0 |
| 30 | $1-\exp(-a*x^2)$ | 2,606296 | 28,5 | 1,5 | 122,27 | 0 | 0 |
| 31 | $1/(1+a*x)$ | 2,714416 | 15,89417888 | 0,836535731 | 132,6250 | 0 | 0 |

MODÈLES PLAUSIBLES POUR DÉCRIRE LA RELATION ENTRE LA CHANGEMENT RELATIF DE LA VITESSE DE DÉCANTATION ET LA CONCENTRATION DE CHITOSANE POUR LES SÉRIES B, C ET D.

DataFit version 6.1.10

Equation ID: $\exp(a+b*x+c*x^2)$

Number of observations = 19

Number of missing observations = 0

Solver type: Nonlinear

Nonlinear iteration limit = 250

Diverging nonlinear iteration limit = 10

Number of nonlinear iterations performed = 4

Residual tolerance = 0.0000000001

Sum of Residuals = 0.142255989675423

Average Residual = 7.48715735133803E-03

Residual Sum of Squares (Absolute) = 6.3725528171956

Residual Sum of Squares (Relative) = 6.3725528171956

Standard Error of the Estimate = 0.631097893416485

Coefficient of Multiple Determination (R^2) = 0.9217778487

Proportion of Variance Explained = 92.17778487%

Adjusted coefficient of multiple determination (R_a^2) = 0.9120000798

Durbin-Watson statistic = 1.35628840980757

Regression Variable Results

| Variable | Value | Standard Error | t-ratio | Prob(t) |
|----------|--------------|----------------|--------------|---------|
| a | -0,392176342 | 0,196124039 | -1,999634228 | 0.06282 |
| b | 0,375020559 | 0,047988854 | 7,814742933 | 0.0 |
| c | -0,014179218 | 0,002556338 | -5,546690473 | 0.00004 |

90% Confidence Intervals

| Variable | Value | 90% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| a | -0,392176342 | 0,34241296 | -0,734589302 | -0,049763382 |
| b | 0,375020559 | 0,083783741 | 0,291236819 | 0,4588043 |
| c | -0,014179218 | 0,004463111 | -0,018642329 | -0,009716107 |

95% Confidence Intervals

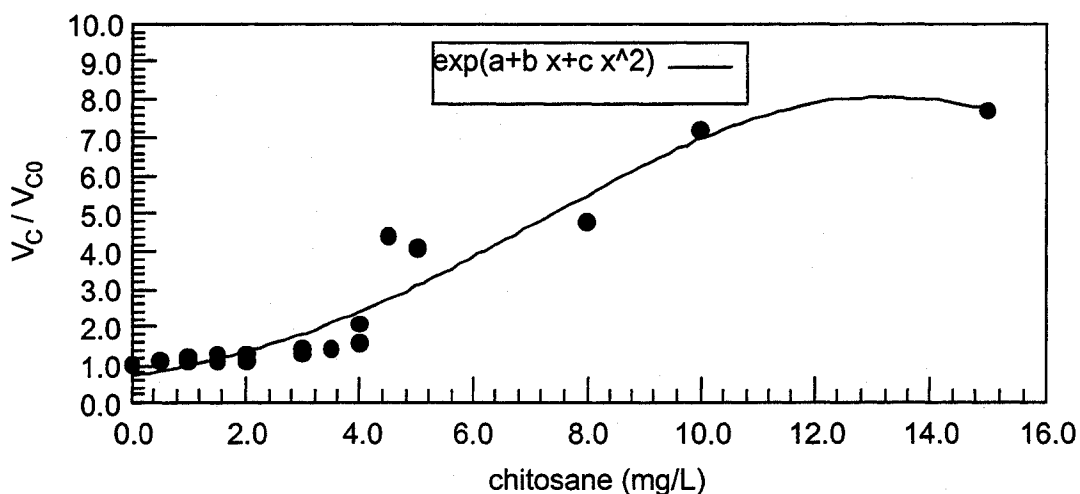
| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| a | -0,392176342 | 0,415763351 | -0,807939693 | 0,023587009 |
| b | 0,375020559 | 0,101731572 | 0,273288987 | 0,476752131 |
| c | -0,014179218 | 0,005419182 | -0,0195984 | -0,008760036 |

99% Confidence Intervals

| Variable | Value | 99% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| a | -0,392176342 | 0,572839094 | -0,965015436 | 0,180662752 |
| b | 0,375020559 | 0,140165845 | 0,234854714 | 0,515186404 |
| c | -0,014179218 | 0,007466553 | -0,021645771 | -0,006712665 |

Variance Analysis

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob(F) |
|------------|----|----------------|-------------|-------------|---------|
| Regression | 2 | 75,0948156 | 37,5474078 | 94,27282002 | 0 |
| Error | 16 | 6,372552817 | 0,398284551 | | |
| Total | 18 | 81,46736842 | | | |



Equation ID: $a \cdot \exp(-(x-b)^2 / (2 \cdot c^2))$

Sum of Residuals = 0.142256010207975

Average Residual = 7.48715843199869E-03

Residual Sum of Squares (Absolute) = 6.3725528171956

Residual Sum of Squares (Relative) = 6.3725528171956

Standard Error of the Estimate = 0.631097893416485

Coefficient of Multiple Determination (R^2) = 0.9217778487

Proportion of Variance Explained = 92.17778487%

Adjusted coefficient of multiple determination (R_a^2) = 0.9120000798

Durbin-Watson statistic = 1.35628841067594

Regression Variable Results

| Variable | Value | Standard Error | t-ratio | Prob(t) |
|----------|-----------|----------------|------------|---------|
| a | 8,0648609 | 0,487124431 | 16,5560593 | 0.0 |
| b | 13,224303 | 0,816320994 | 16,1998814 | 0.0 |
| c | 5,9382552 | 0,535297153 | 11,093381 | 0.0 |

90% Confidence Intervals

| Variable | Value | 90% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| a | 8,0648671 | 0,850470545 | 7,21439042 | 8,9153315 |
| b | 13,224303 | 1,425214824 | 11,7990885 | 14,649518 |
| c | 5,9382552 | 0,9345753 | 5,00367996 | 6,8728306 |

95% Confidence Intervals

| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| a | 8,064861 | 1,032655082 | 7,03220588 | 9,0975160 |
| b | 13,224303 | 1,730518876 | 11,4937844 | 14,954822 |
| c | 5,9382552 | 1,134776436 | 4,80347882 | 7,0730317 |

99% Confidence Intervals

| Variable | Value | 99% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| a | 8,064861 | 1,422793039 | 6,64206792 | 9,487654 |
| b | 13,224303 | 2,384310361 | 10,8399929 | 15,608614 |
| c | 5,938255 | 1,563495926 | 4,37475933 | 7,5017512 |

Variance Analysis

| Source | DF | Sum of | Mean Square | F Ratio | Prob(F) |
|------------|----|-------------|-------------|----------|---------|
| Regression | 2 | 75,0948156 | 37,5474078 | 94,27282 | 0 |
| Error | 16 | 6,372552817 | 0,39828455 | | |
| Total | 18 | 81,46736842 | | | |

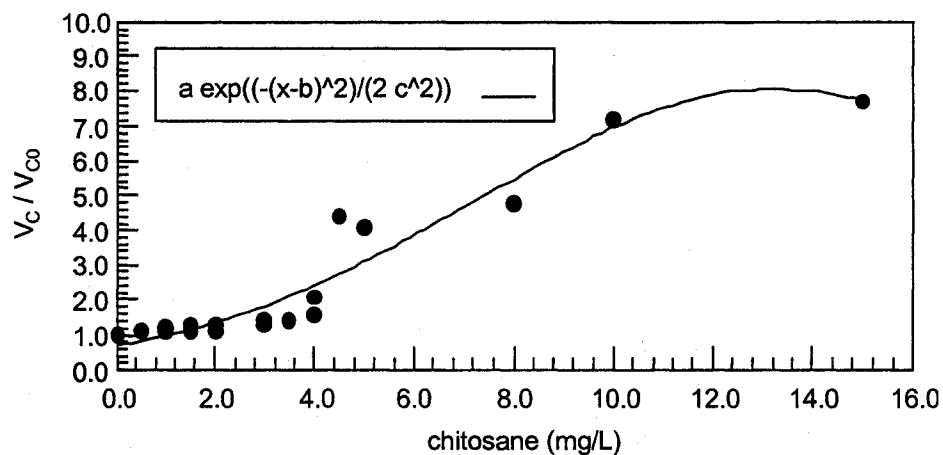


TABLEAU D.4: SOMMAIRE DES RÉSULTATS DE L'ANALYSE DE RÉGRESSION NONLINÉAIRE EFFECTUÉE PAR DATAFIT 6.1.10 AFIN D'ÉTABLIR LA RELATION ENTRE LE CHANGEMENT RELATIF DE L'INDICE VOLUMIQUE DE LA BOUE ET LA CONCENTRATION DE CHITOSANE POUR LES SÉRIES B, C, D.

| Rank | Model | StdError | Residual Sum | Residual Avg. | RSS | R^2 | Ra^2 |
|------|--------------------------|----------|--------------|---------------|----------|----------|----------|
| 1 | 10th order polynomial | 0,09331 | -2,55675E-11 | -1,42042E-12 | 0,060943 | 0,838510 | 0,607810 |
| 2 | 9th order polynomial | 0,08773 | -2,584E-08 | -1,43555E-09 | 0,061573 | 0,836839 | 0,653283 |
| 3 | 8th order polynomial | 0,08553 | 1,65097E-09 | 9,17208E-11 | 0,065836 | 0,825543 | 0,670470 |
| 4 | 7th order polynomial | 0,08153 | 4,57434E-12 | 2,5413E-13 | 0,066464 | 0,823880 | 0,700596 |
| 5 | 6th order polynomial | 0,08275 | -1,34892E-13 | -7,49401E-15 | 0,075324 | 0,800403 | 0,691532 |
| 6 | 5th order polynomial | 0,08306 | 1,11577E-13 | 6,19875E-15 | 0,082785 | 0,780630 | 0,689226 |
| 7 | 4th order polynomial | 0,07990 | -8,88E-16 | -4,93432E-17 | 0,082992 | 0,780082 | 0,712415 |
| 8 | 1-c*exp(-a*x^b) | 0,07548 | -0,007707195 | -0,000428178 | 0,085449 | 0,773571 | 0,743381 |
| 9 | a*x^3+b*x^2+c*x+d | 0,07894 | -8,88178E-15 | -4,93432E-16 | 0,087249 | 0,768803 | 0,719260 |
| 10 | a*x^2+b*x+c | 0,07631 | -1,88738E-15 | -1,04854E-16 | 0,087339 | 0,768563 | 0,737704 |
| 11 | exp(a+b*x+c*x^2) | 0,07644 | -0,000383382 | -2,1299E-05 | 0,087654 | 0,767728 | 0,736759 |
| 12 | 1-exp(-a*x^b) | 0,07428 | 0,045662974 | 0,002536832 | 0,088276 | 0,766079 | 0,751459 |
| 13 | exp(a+b/x+c*log(x)) | 0,07680 | -0,001786327 | -9,92404E-05 | 0,088483 | 0,765532 | 0,734269 |
| 14 | a*b^(1/x)*x^c | 0,07680 | -0,001786327 | -9,92404E-05 | 0,088483 | 0,765532 | 0,734269 |
| 15 | 1/(a+b*x+c*x^2) | 0,07686 | -0,000898493 | -4,99163E-05 | 0,088612 | 0,765192 | 0,733884 |
| 16 | a/(1+b*x+c*x^2) | 0,07686 | -0,000898493 | -4,99163E-05 | 0,088612 | 0,765192 | 0,733884 |
| 17 | x/(a+b*x-c*x^2) | 0,07772 | 0,007137991 | 0,000396555 | 0,090605 | 0,759909 | 0,727897 |
| 18 | 1/(a+b*x) | 0,07529 | 0,006012168 | 0,000334009 | 0,090706 | 0,759641 | 0,744619 |
| 19 | a/(1+b*x) | 0,07529 | 0,006012168 | 0,000334009 | 0,090706 | 0,759641 | 0,744619 |
| 20 | a*b^x*x^c | 0,07915 | 0,002315094 | 0,000128616 | 0,093978 | 0,750971 | 0,717767 |
| 21 | x^a*exp(b-c*x) | 0,07915 | 0,002315093 | 0,000128616 | 0,093978 | 0,750971 | 0,717767 |
| 22 | a*x^b*exp(-c*x) | 0,07915 | 0,002315093 | 0,000128616 | 0,093978 | 0,750971 | 0,717767 |
| 23 | a*b^x | 0,07838 | 0,007615908 | 0,000423106 | 0,098304 | 0,739508 | 0,723227 |
| 24 | a*exp(b*x) | 0,07838 | 0,007615908 | 0,000423106 | 0,098304 | 0,739508 | 0,723227 |
| 25 | exp(a+b*x) | 0,07838 | 0,007615908 | 0,000423106 | 0,098304 | 0,739508 | 0,723227 |
| 26 | a*exp(-(x-b)^2)/(2*c^2)) | 0,08140 | 0,009370941 | 0,000520608 | 0,099384 | 0,736645 | 0,701531 |
| 27 | a*(1+x)^b | 0,07976 | -0,005896767 | -0,000327598 | 0,101789 | 0,730273 | 0,713415 |
| 28 | 1/(1+a*x) | 0,07775 | 0,215782504 | 0,011987917 | 0,102772 | 0,727668 | 0,727668 |
| 29 | x/(a+b*x+c*sqr(x)) | 0,08415 | -0,011161198 | -0,000620067 | 0,106211 | 0,718556 | 0,681031 |
| 30 | a+b*x+c/x^2 | 0,08528 | -1,16573E-15 | -6,4763E-17 | 0,109080 | 0,710952 | 0,672413 |
| 31 | a+b*log(x) | 0,08322 | -2,66454E-15 | -1,4803E-16 | 0,110798 | 0,706401 | 0,688051 |
| 32 | a*x+b | 0,08374 | -1,55431E-15 | -8,63507E-17 | 0,112205 | 0,702673 | 0,684090 |
| 33 | a*(x-b) | 0,08374 | 0 | 0 | 0,112205 | 0,702673 | 0,684090 |
| 34 | a*x^(b*x) | 0,08619 | 0,01260477 | 0,000700265 | 0,118852 | 0,685059 | 0,665375 |
| 35 | log(a+b*x) | 0,08837 | -1,53599E-13 | -8,5333E-15 | 0,124950 | 0,668899 | 0,648206 |
| 36 | a*x^b | 0,08866 | -0,00926858 | -0,000514921 | 0,125762 | 0,666747 | 0,645919 |
| 37 | x^a | 0,08605 | 0,019371968 | 0,00107622 | 0,125876 | 0,666445 | 0,666445 |
| 38 | 1-exp(-a*b^x) | 0,09077 | 0,124660923 | 0,006925607 | 0,131836 | 0,650652 | 0,628818 |
| 39 | 1/(a+b*log(x)) | 0,09431 | -0,01900378 | -0,001055766 | 0,142315 | 0,622883 | 0,599314 |
| 40 | exp(-exp(a-b*x)) | 0,10050 | 0,145570708 | 0,008087262 | 0,161611 | 0,571752 | 0,544986 |

MODÈLES PLAUSIBLES POUR DÉCRIRE LA RELATION ENTRE LE CHANGEMENT RELATIF DE L'INDICE VOLUMIQUE DE BOUE IVB_c / IVB_{c0} ET LA CONCENTRATION DE CHITOSANE POUR LES SÉRIES B, C et D.

DataFit version 6.1.10

Equation ID: 1-c*exp(-a*x^b)

Number of observations = 18

Number of missing observations = 0

Solver type: Nonlinear

Nonlinear iteration limit = 250

Diverging nonlinear iteration limit = 10

Number of nonlinear iterations performed = 19

Residual tolerance = 0.000000001

Sum of Residuals = -7.7071950379145E-03

Average Residual = -4.28177502106361E-04

Residual Sum of Squares (Absolute) = 8.54491531387898E-02

Residual Sum of Squares (Relative) = 8.54491531387898E-02

Standard Error of the Estimate = 7.54758915764011E-02

Coefficient of Multiple Determination (R^2) = 0.7735713172

Proportion of Variance Explained = 77.35713172%

Adjusted coefficient of multiple determination (R_a^2) = 0.7433808262

Durbin-Watson statistic = 2.29209592379585

Regression Variable Results

| Variable | Value | Standard Error | t-ratio | Prob(t) |
|----------|-------------|----------------|-------------|---------|
| a | 4,865892146 | 2,342094435 | 2,077581533 | 0.05534 |
| b | -1,02804422 | 0,654420183 | -1,57092377 | 0.13705 |
| c | 0,581365657 | 0,298902531 | 1,945000782 | 0.07077 |

90% Confidence Intervals

| Variable | Value | 90% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 4,865892146 | 4,105925755 | 0,759966392 | 8,971817901 |
| b | -1,02804422 | 1,147264022 | -2,175308242 | 0,119219802 |
| c | 0,581365657 | 0,524006028 | 0,05735963 | 1,105371685 |

95% Confidence Intervals

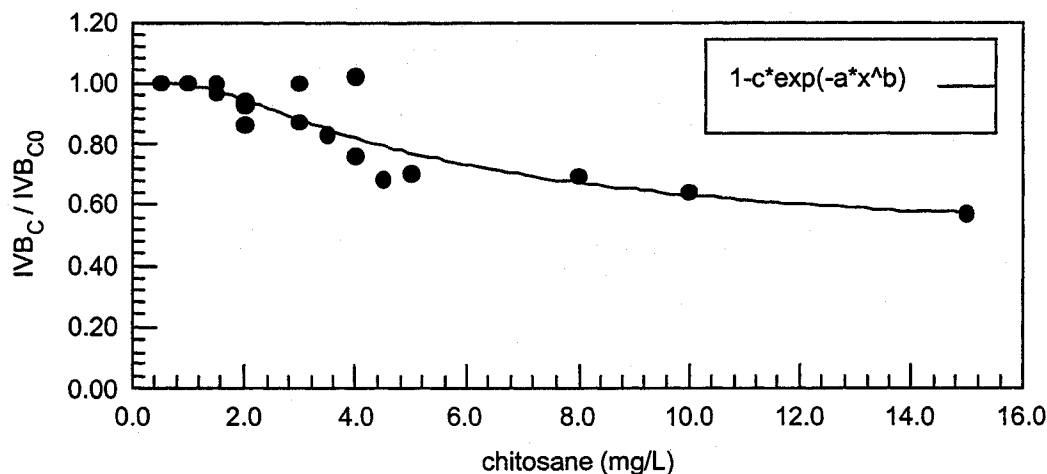
| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 4,865892146 | 4,99194008 | -0,126047933 | 9,857832226 |
| b | -1,02804422 | 1,394831177 | -2,422875397 | 0,366786957 |
| c | 0,581365657 | 0,637080855 | -0,055715198 | 1,218446512 |

99% Confidence Intervals

| Variable | Value | 99% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 4,865892146 | 6,901449673 | -2,035557526 | 11,76734182 |
| b | -1,02804422 | 1,928379952 | -2,956424172 | 0,900335732 |
| c | 0,581365657 | 0,880776089 | -0,299410432 | 1,462141746 |

Variance Analysis

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob(F) |
|------------|----|----------------|-------------|------------|---------|
| Regression | 2 | 0,291928625 | 0,145964312 | 25,6230121 | 0,00001 |
| Error | 15 | 0,085449153 | 0,00569661 | | |
| Total | 17 | 0,377377778 | | | |



Equation ID: $\exp(a+b*x+c*x^2)$

Sum of Residuals = -3.83381871077004E-04

Average Residual = -2.12989928376113E-05

Residual Sum of Squares (Absolute) = 8.76541077754864E-02

Residual Sum of Squares (Relative) = 8.76541077754864E-02

Standard Error of the Estimate = 7.64434901416231E-02

Coefficient of Multiple Determination (R^2) = 0.7677284861

Proportion of Variance Explained = 76.77284861%

Adjusted coefficient of multiple determination (R_a^2) = 0.7367589509

Durbin-Watson statistic = 2.20396193601098

Regression Variable Results

| Variable | Value | Standard Error | t-ratio | Prob(t) |
|----------|--------------|----------------|--------------|---------|
| a | 0,070685352 | 0,046614915 | 1,516367702 | 0.15168 |
| b | -0,074728339 | 0,021507668 | -3,474497567 | 0.00372 |
| c | 0,002163465 | 0,001570518 | 1,377548773 | 0.18997 |

90% Confidence Intervals

| Variable | Value | 90% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| a | 0,070685352 | 0,08210285 | -0,011417498 | 0,152788202 |
| b | -0,074728339 | 0,037881455 | -0,112609794 | -0,036846884 |
| c | 0,002163465 | 0,002766154 | -0,000602688 | 0,004929619 |

95% Confidence Intervals

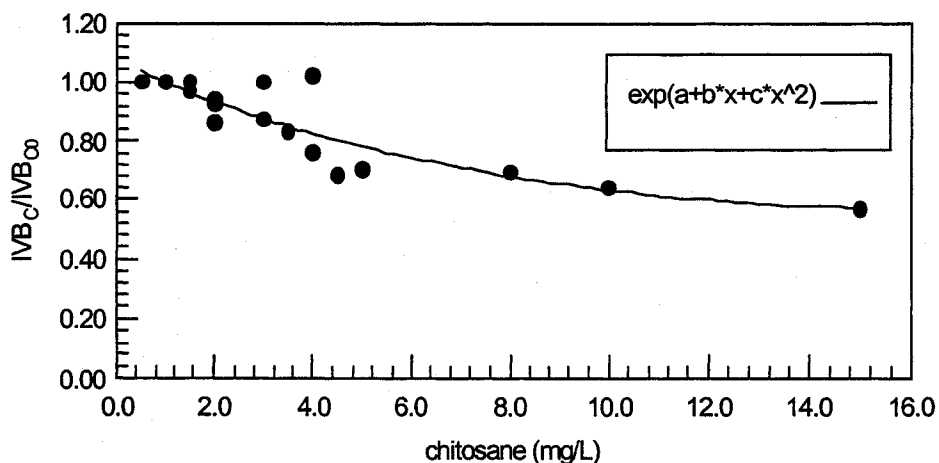
| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| a | 0,070685352 | 0,09997967 | -0,029294318 | 0,170665022 |
| b | -0,074728339 | 0,046129645 | -0,120857984 | -0,028598693 |
| c | 0,002163465 | 0,003368447 | -0,001204982 | 0,005531912 |

99% Confidence Intervals

| Variable | Value | 99% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| a | 0,070685352 | 0,13876328 | -0,068077928 | 0,209448631 |
| b | -0,074728339 | 0,064024025 | -0,138752364 | -0,010704314 |
| c | 0,002163465 | 0,004675118 | -0,002511653 | 0,006838583 |

Variance Analysis

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob(F) |
|------------|----|----------------|-------------|-------------|---------|
| Regression | 2 | 0,28972367 | 0,144861835 | 23,13714373 | 0,00004 |
| Error | 14 | 0,087654108 | 0,006261008 | | |
| Total | 16 | 0,377377778 | | | |



Equation ID: 1-exp(-a*x^b)

Sum of Residuals = 4.56629739326394E-02

Average Residual = 2.53683188514663E-03

Residual Sum of Squares (Absolute) = 8.82764201271879E-02

Residual Sum of Squares (Relative) = 8.82764201271879E-02

Standard Error of the Estimate = 7.42783700544731E-02

Coefficient of Multiple Determination (R²) = 0.7660794426

Proportion of Variance Explained = 76.60794426%

Adjusted coefficient of multiple determination (Ra²) = 0.7514594078

Durbin-Watson statistic = 2.16120034234376

Regression Variable Results

| Variable | Value | Standard Error | t-ratio | Prob(t) |
|----------|--------------|----------------|--------------|---------|
| a | 4,184951685 | 0,804570096 | 5,201475554 | 0.00009 |
| b | -0,621068045 | 0,110634852 | -5,613674458 | 0.00004 |

90% Confidence Intervals

| Variable | Value | 90% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| a | 4,184951685 | 1,40469893 | 2,780252754 | 5,589650615 |
| b | -0,621068045 | 0,193157389 | -0,814225434 | -0,427910656 |

95% Confidence Intervals

| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| a | 4,184951685 | 1,705608146 | 2,479343539 | 5,89055983 |
| b | -0,621068045 | 0,234534824 | -0,855602869 | -0,386533221 |

99% Confidence Intervals

| Variable | Value | 99% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| a | 4,184951685 | 2,349988336 | 1,834963349 | 6,53494002 |
| b | -0,621068045 | 0,323142277 | -0,944210322 | -0,297925768 |

Variance Analysis

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob(F) |
|------------|----|----------------|-------------|-------------|---------|
| Regression | 1 | 0,289101358 | 0,289101358 | 52,39928982 | 0 |
| Error | 16 | 0,08827642 | 0,005517276 | | |
| Total | 17 | 0,377377778 | | | |

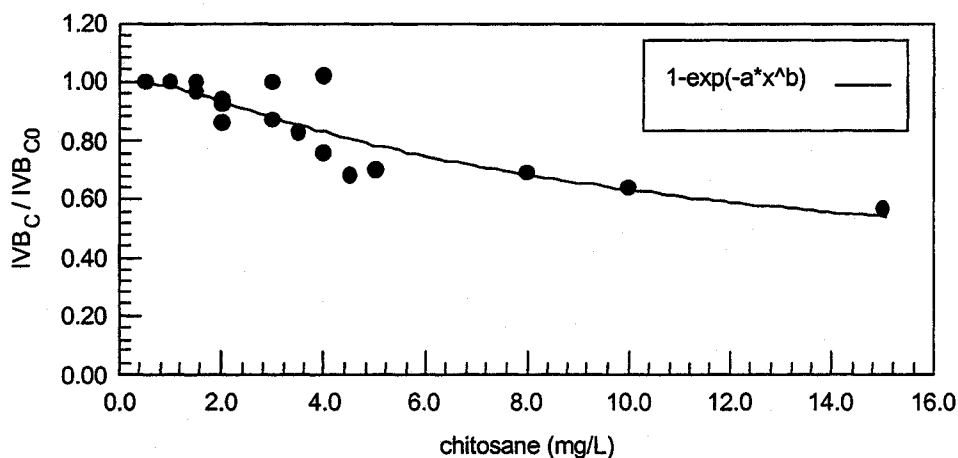


TABLEAU D.5: SOMMAIRE DES RÉSULTATS DE L'ANALYSE DE RÉGRESSION NONLINÉAIRE EFFECTUÉE PAR DATAFIT 6.1.10 AFIN D'ÉTABLIR LA RELATION ENTRE LA V_c ET LA CONCENTRATION DE CHITOSANE POUR LA BOUE EN ÉTAT DE GONFLEMENT LORS DE LA SÉRIE C.

| Rank | Model | StdError | Residual Sum | Residual Avg. | RSS | R ² | Ra ² |
|------|-----------------------------|----------|--------------|---------------|------------|----------------|-----------------|
| 1 | 7th order polynomial | 1,62635 | -6,46715E-10 | -7,18572E-11 | 2,64500 | 0,99603 | 0,96826 |
| 2 | 6th order polynomial | 1,22526 | 1,2923E-13 | 1,43589E-14 | 3,00255 | 0,99550 | 0,98199 |
| 3 | 5th order polynomial | 1,02142 | 1,73195E-14 | 1,92439E-15 | 3,12989 | 0,99531 | 0,98748 |
| 4 | 4th order polynomial | 0,93966 | 8,08242E-14 | 8,98047E-15 | 3,53186 | 0,99470 | 0,98940 |
| 5 | $x/(a+b*x+c*\text{sqr}(x))$ | 0,86349 | -1,235032897 | -0,137225877 | 4,47373 | 0,99329 | 0,99105 |
| 6 | $a*x^3+b*x^2+c*x+d$ | 1,15353 | 9,76996E-15 | 1,08555E-15 | 6,65320 | 0,99002 | 0,98403 |
| 7 | $a*\exp(-(x-b)^2)/(2*c^2))$ | 1,68640 | -3,048722391 | -0,338746932 | 17,06362 | 0,97441 | 0,96587 |
| 8 | $\exp(a+b*x+c*x^2)$ | 1,68640 | -3,048720798 | -0,338746755 | 17,06362 | 0,97441 | 0,96587 |
| 9 | $a*x^2+b*x+c$ | 2,75184 | 1,03029E-13 | 1,14476E-14 | 45,43570 | 0,93185 | 0,90913 |
| 10 | $x/(a*x+b)$ | 3,03913 | -4,795113846 | -0,532790427 | 64,65439 | 0,90302 | 0,88917 |
| 11 | $a*x/(b+x)$ | 3,03913 | -4,795113209 | -0,532790357 | 64,65439 | 0,90302 | 0,88917 |
| 12 | $a*(x-b)$ | 3,16577 | -2,84217E-14 | -3,15797E-15 | 70,15484 | 0,89477 | 0,87974 |
| 13 | $a*x+b$ | 3,16577 | -5,32907E-15 | -5,92119E-16 | 70,15484 | 0,89477 | 0,87974 |
| 14 | $a*(1+x)^b$ | 3,31709 | -3,937526401 | -0,437502933 | 77,02174 | 0,88447 | 0,86797 |
| 15 | $\exp(a+b*x)$ | 4,94956 | -4,576061183 | -0,508451243 | 171,48722 | 0,74278 | 0,70604 |
| 16 | $a*b^x$ | 4,94956 | -4,57606582 | -0,508451758 | 171,48722 | 0,74278 | 0,70604 |
| 17 | $a*\exp(b*x)$ | 4,94956 | -4,576067964 | -0,508451996 | 171,48722 | 0,74278 | 0,70604 |
| 18 | $\exp(-a*x^2)$ | 8,60197 | 42,12621414 | 4,68069046 | 591,95062 | 0,11212 | 0,11212 |
| 19 | $a+b*\cos(x)+c*\sin(x)$ | 10,18847 | -3,19744E-14 | -3,55271E-15 | 622,82971 | 0,06580 | 0,00000 |
| 20 | $\log(x-a)$ | 9,12819 | 0,054439758 | 0,006048862 | 666,59142 | 0,00016 | 0,00016 |
| 21 | $a/(1+b*x+c*x^2)$ | 10,72440 | 48,42292138 | 5,380324598 | 690,07651 | 0,00000 | 0,00000 |
| 22 | $1/(a+b*x+c*x^2)$ | 12,45314 | 54,00008076 | 6,000008973 | 930,48456 | 0,00000 | 0,00000 |
| 23 | $1/(1+a*x)$ | 10,94008 | 52,55006097 | 5,838895663 | 957,48258 | 0,00000 | 0,00000 |
| 24 | $\exp(x-a)$ | 11,15712 | 62,19460393 | 6,910511548 | 995,85060 | 0,00000 | 0,00000 |
| 25 | $1/(x+a)$ | 11,81909 | 58,83594083 | 6,537326759 | 1117,52676 | 0,00000 | 0,00000 |
| 26 | $a*\cos(x)+b*\sin(x)$ | 14,17637 | 83,9422447 | 9,326916078 | 1406,78715 | 0,00000 | 0,00000 |
| 27 | $a/(1+b*x)$ | 14,21655 | 79,55405836 | 8,839339818 | 1414,77154 | 0,00000 | 0,00000 |
| 28 | $\cos(x+a)$ | 13,31526 | 83,62133711 | 9,291259679 | 1418,36821 | 0,00000 | 0,00000 |
| 29 | $\sin(x+a)$ | 13,31526 | 83,62133745 | 9,291259716 | 1418,36821 | 0,00000 | 0,00000 |
| 30 | $1/(a+b*x)$ | 14,34045 | 83,4 | 9,266666667 | 1439,54000 | 0,00000 | 0,00000 |

MODÈLES PLAUSIBLES POUR DÉCRIRE LA RELATION ENTRE LA VITESSE DE DÉCANTATION V_c ET LA CONCENTRATION DE CHITOSANE POUR LA BOUE EN ÉTAT DE GONFLEMENT LORS DE LA SÉRIE C.

Equation ID: $x/(a+b*x+c*\sqrt{x})$

Number of observations = 9

Number of missing observations = 0

Solver type: Nonlinear

Nonlinear iteration limit = 250

Diverging nonlinear iteration limit = 10

Number of nonlinear iterations performed = 32

Residual tolerance = 0.0000000001

Sum of Residuals = -1.23503289693696

Average Residual = -0.13722587743744

Residual Sum of Squares (Absolute) = 4.47373083888651

Residual Sum of Squares (Relative) = 4.47373083888651

Standard Error of the Estimate = 0.863493952776211

Coefficient of Multiple Determination (R^2) = 0.9932897393

Proportion of Variance Explained = 99.32897393%

Adjusted coefficient of multiple determination (R_a^2) = 0.9910529857

Durbin-Watson statistic = 2.20945449257872

Regression Variable Results

| Variable | Value | Standard Error | t-ratio | Prob(t) |
|----------|-------------|----------------|--------------|---------|
| a | 6,368247747 | 0,855039658 | 7,447897514 | 0.0003 |
| b | 0,399066047 | 0,057406884 | 6,9515365 | 0.00044 |
| c | -3,02700768 | 0,450235927 | -6,723158907 | 0.00053 |

90% Confidence Intervals

| Variable | Value | 90% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| a | 6,368247747 | 1,661513064 | 4,706734682 | 8,029760811 |
| b | 0,399066047 | 0,111553056 | 0,287512991 | 0,510619103 |
| c | -3,02700768 | 0,874898452 | -3,901906132 | -2,152109227 |

95% Confidence Intervals

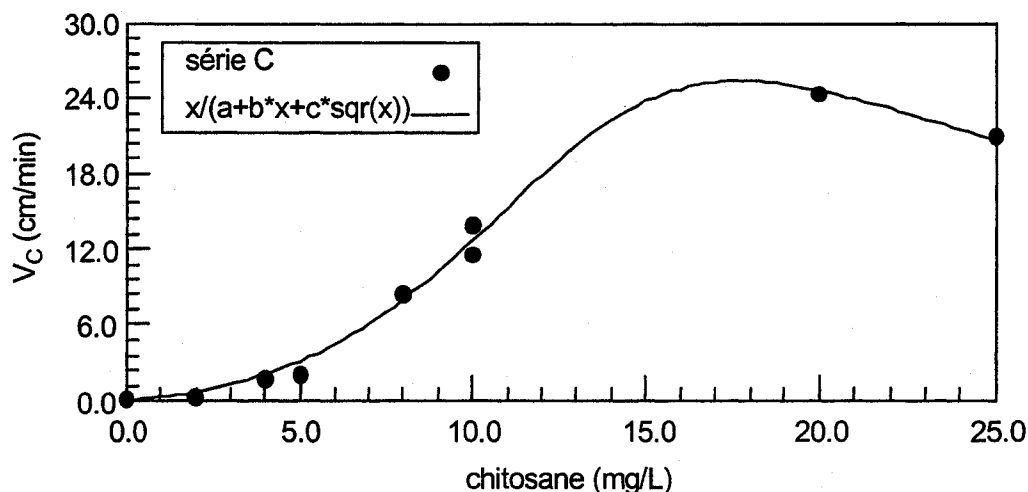
| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| a | 6,368247747 | 2,09219654 | 4,276051206 | 8,460444287 |
| b | 0,399066047 | 0,140468904 | 0,258597143 | 0,539534951 |
| c | -3,02700768 | 1,101682289 | -4,128689968 | -1,925325391 |

99% Confidence Intervals

| Variable | Value | 99% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| a | 6,368247747 | 3,16997403 | 3,198273717 | 9,538221776 |
| b | 0,399066047 | 0,21283028 | 0,186235767 | 0,611896328 |
| c | -3,02700768 | 1,669204674 | -4,696212354 | -1,357803006 |

Variance Analysis

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob(F) |
|------------|----|----------------|-------------|------------|---------|
| Regression | 2 | 662,2262692 | 331,113134 | 444,076516 | 0 |
| Error | 6 | 4,473730839 | 0,74562180 | | |
| Total | 8 | 666,7 | | | |



Equation ID: $a \cdot \exp(-(x-b)^2 / (2 \cdot c^2))$

Sum of Residuals = -3.04872239078918

Average Residual = -0.338746932309909

Residual Sum of Squares (Absolute) = 17.0636152226932

Residual Sum of Squares (Relative) = 17.0636152226932

Standard Error of the Estimate = 1.6863973050408

Coefficient of Multiple Determination (R^2) = 0.9744058569

Proportion of Variance Explained = 97.44058569%

Adjusted coefficient of multiple determination (R_a^2) = 0.9658744758

Durbin-Watson statistic = 1.33899408518757

Regression Variable Results

| Variable | Value | Standard Error | t-ratio | Prob(t) |
|----------|------------|----------------|-------------|---------|
| a | 25,8266095 | 1,62227598 | 15,91998514 | 0.0 |
| b | 19,5893367 | 0,685240889 | 28,5875187 | 0.0 |
| c | 7,55103643 | 0,61834135 | 12,21176042 | 0.00002 |

90% Confidence Intervals

| Variable | Value | 90% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|------------|-------------|-------------|-------------|
| a | 25,8266095 | 3,152406685 | 22,67420282 | 28,9790162 |
| b | 19,5893367 | 1,331560096 | 18,25777663 | 20,9208968 |
| c | 7,55103643 | 1,201560912 | 6,349475514 | 8,75259734 |

95% Confidence Intervals

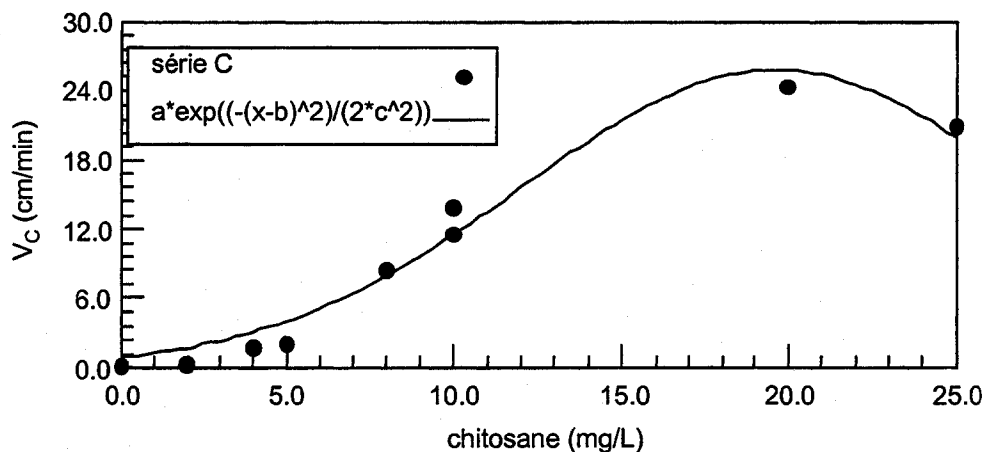
| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|------------|-------------|-------------|-------------|
| a | 25,8266095 | 3,969547096 | 21,85706241 | 29,7961566 |
| b | 19,5893367 | 1,676715931 | 17,9126208 | 21,2660527 |
| c | 7,55103643 | 1,51301945 | 6,038016976 | 9,06405588 |

99% Confidence Intervals

| Variable | Value | 99% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|------------|-------------|-------------|-------------|
| a | 25,8266095 | 6,01442597 | 19,81218354 | 31,8410355 |
| b | 19,5893367 | 2,540462072 | 17,04887465 | 22,1297988 |
| c | 7,55103643 | 2,292438721 | 5,258597705 | 9,84347515 |

Variance Analysis

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob(F) |
|------------|----|----------------|-------------|------------|---------|
| Regression | 2 | 649,6363848 | 324,8181924 | 114,214317 | 0,00002 |
| Error | 6 | 17,06361522 | 2,84393587 | | |
| Total | 8 | 666,7 | | | |



Equation ID: $\exp(a+b \cdot x+c \cdot x^2)$

Sum of Residuals = -3.0487207983649

Average Residual = -0.338746755373878

Residual Sum of Squares (Absolute) = 17.0636152226939

Residual Sum of Squares (Relative) = 17.0636152226939

Standard Error of the Estimate = 1.68639730504083

Coefficient of Multiple Determination (R^2) = 0.9744058569

Proportion of Variance Explained = 97.44058569%

Adjusted coefficient of multiple determination (R_a^2) = 0.9658744758

Durbin-Watson statistic = 1.33899441140797

Regression Variable Results

| Variable | Value | Standard Error | t-ratio | Prob(t) |
|----------|--------------|----------------|--------------|---------|
| a | -0,113682184 | 0,355590343 | -0,319699863 | 0.76003 |
| b | 0,343563197 | 0,047480333 | 7,235905414 | 0.00035 |
| c | -0,008769138 | 0,001436179 | -6,105880554 | 0.00088 |

90% Confidence Intervals

| Variable | Value | 90% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| a | -0,113682184 | 0,690983155 | -0,804665339 | 0,57730097 |
| b | 0,343563197 | 0,092263783 | 0,251299414 | 0,435826979 |
| c | -0,008769138 | 0,002790783 | -0,011559921 | -0,005978355 |

95% Confidence Intervals

| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| a | -0,113682184 | 0,87009401 | -0,983776194 | 0,756411826 |
| b | 0,343563197 | 0,116179626 | 0,227383571 | 0,459742823 |
| c | -0,008769138 | 0,003514187 | -0,012283325 | -0,005254951 |

99% Confidence Intervals

| Variable | Value | 99% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| a | -0,113682184 | 1,318315638 | -1,431997822 | 1,204633454 |
| b | 0,343563197 | 0,176028586 | 0,167534611 | 0,519591782 |
| c | -0,008769138 | 0,00532449 | -0,014093629 | -0,003444648 |

Variance Analysis

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob(F) |
|------------|----|----------------|-------------|-------------|---------|
| Regression | 2 | 649,6363848 | 324,8181924 | 114,2143168 | 0,00002 |
| Error | 6 | 17,06361522 | 2,84393587 | | |
| Total | 8 | 666,7 | | | |

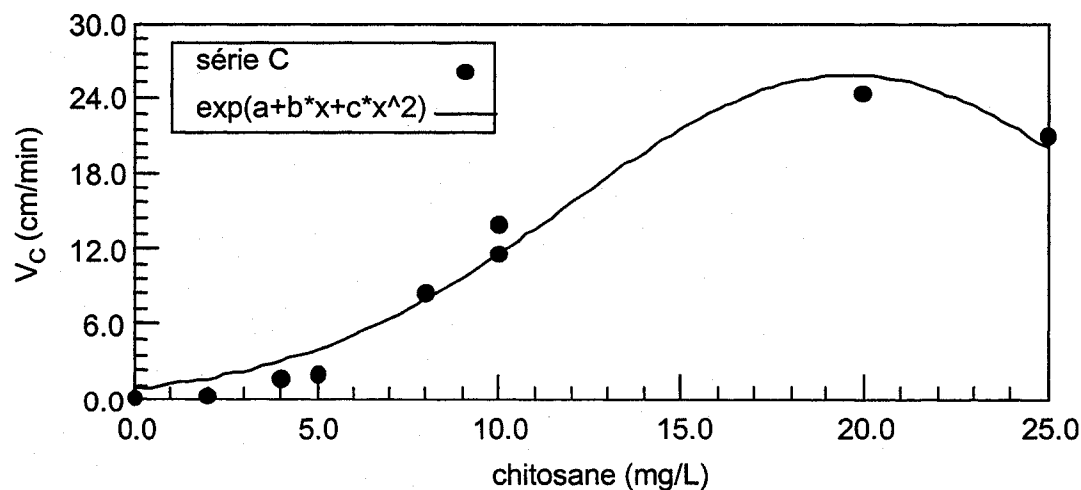


TABLEAU D.6: SOMMAIRE DES RÉSULTATS DE L'ANALYSE DE RÉGRESSION NONLINÉAIRE EFFECTUÉE PAR DATAFIT 6.1.10 AFIN D'ÉTABLIR LA RELATION ENTRE LA V_c ET LA CONCENTRATION DE CHITOSANE POUR LA BOUE EN ÉTAT DE GONFLEMENT LORS DE LA SÉRIE E.

| Rank | Model | StdError | Residual Sum | Residual Avg. | RSS | R ² | Ra ² |
|------|----------------------------|----------|--------------|---------------|-----------|----------------|-----------------|
| 1 | 9th order polynomial | 0,070711 | -8,81E-11 | -8,00752E-12 | 0,00500 | 0,99999 | 0,99990 |
| 2 | 8th order polynomial | 0,278105 | -9,20204E-11 | -8,3655E-12 | 0,15468 | 0,99969 | 0,99843 |
| 3 | 7th order polynomial | 0,432701 | 6,57781E-11 | 5,97983E-12 | 0,56169 | 0,99886 | 0,99621 |
| 4 | 6th order polynomial | 0,400315 | 2,60121E-10 | 2,36473E-11 | 0,64101 | 0,99870 | 0,99675 |
| 5 | 5th order polynomial | 0,720233 | -8,67084E-14 | -7,88258E-15 | 2,59368 | 0,99475 | 0,98949 |
| 6 | 4th order polynomial | 0,707482 | 1,02141E-14 | 9,2855E-16 | 3,00318 | 0,99392 | 0,98986 |
| 7 | $a*x^3+b*x^2+c*x+d$ | 0,655016 | -9,54792E-15 | -8,67993E-16 | 3,00332 | 0,99392 | 0,99131 |
| 8 | $x/(a+b*x+c*\sqrt{x})$ | 0,829271 | -1,50517936 | -0,136834487 | 5,50152 | 0,98886 | 0,98607 |
| 9 | $a*\exp((-x-b)^2)/(2*c^2)$ | 0,890565 | -1,647207655 | -0,14974615 | 6,34484 | 0,98715 | 0,98394 |
| 10 | $\exp(a+b*x+c*x^2)$ | 0,890565 | -1,647207289 | -0,149746117 | 6,34484 | 0,98715 | 0,98394 |
| 11 | $a*x^2+b*x+c$ | 1,657653 | 7,10543E-15 | 6,45948E-16 | 21,98250 | 0,95548 | 0,94434 |
| 12 | $a*x+b$ | 1,618770 | -8,21565E-15 | -7,46877E-16 | 23,58373 | 0,95223 | 0,94692 |
| 13 | $a*(x-b)$ | 1,618770 | 2,22045E-15 | 2,01859E-16 | 23,58373 | 0,95223 | 0,94692 |
| 14 | $a*(1+x)^b$ | 1,683248 | -3,586430794 | -0,326039163 | 25,49990 | 0,94835 | 0,94261 |
| 15 | $a/(1+b*x+c*x^2)$ | 1,901202 | -5,496312837 | -0,499664803 | 28,91656 | 0,94143 | 0,92679 |
| 16 | $x/(a*x+b)$ | 1,956937 | -6,126251848 | -0,556931986 | 34,46643 | 0,93019 | 0,92243 |
| 17 | $a*x/(b+x)$ | 2,381974 | -11,02236839 | -1,00203349 | 51,06420 | 0,89657 | 0,88508 |
| 18 | $a*b^x$ | 2,797360 | -5,64360629 | -0,513055117 | 70,42699 | 0,85735 | 0,84150 |
| 19 | $a*\exp(b*x)$ | 2,797360 | -5,643605392 | -0,513055036 | 70,42699 | 0,85735 | 0,84150 |
| 20 | $\exp(a+b*x)$ | 2,797360 | -5,643611551 | -0,513055596 | 70,42699 | 0,85735 | 0,84150 |
| 21 | $\exp(-a*x^2)$ | 4,646822 | 19,70827897 | 1,791661725 | 215,92956 | 0,56264 | 0,56264 |
| 22 | $1/(1+a*x)$ | 5,383060 | 24,88454644 | 2,262231495 | 289,77333 | 0,41308 | 0,41308 |
| 23 | $a+b*\cos(x)+c*\sin(x)$ | 7,160671 | 5,32907E-15 | 4,84461E-16 | 410,20164 | 0,16916 | 0,00000 |
| 24 | $\exp(x-a)$ | 6,964533 | 41,75747657 | 3,796134234 | 485,04720 | 0,01756 | 0,01756 |
| 25 | $\log(x-a)$ | 6,991419 | 2,740047637 | 0,24909524 | 488,79937 | 0,00996 | 0,00996 |
| 26 | $\exp(-\exp(a-b*x))$ | 8,900792 | 52,46405989 | 4,76945999 | 713,01688 | 0,00000 | 0,00000 |
| 27 | $a*\cos(x)+b*\sin(x)$ | 8,954671 | 57,8882493 | 5,262568118 | 721,67518 | 0,00000 | 0,00000 |
| 28 | $1/(a+b*x+c*x^2)$ | 9,785323 | 49,80008639 | 4,527280581 | 766,02034 | 0,00000 | 0,00000 |
| 29 | $a/(1+b*x)$ | 9,287780 | 56,26955435 | 5,115414032 | 776,36565 | 0,00000 | 0,00000 |
| 30 | $\sin(x+a)$ | 8,853540 | 59,85472487 | 5,441338625 | 783,85170 | 0,00000 | 0,00000 |

MODÈLES PLAUSIBLES POUR DÉCRIRE LA RELATION ENTRE LA VITESSE DE DÉCANTATION V_c ET LA CONCENTRATION DE CHITOSANE POUR LA BOUE EN ÉTAT DE GONFLEMENT LORS DE LA SÉRIE E.

DataFit version 6.1.10

Equation ID: $x/(a+b*x+c*\text{sqr}(x))$

Number of observations = 11

Number of missing observations = 0

Solver type: Nonlinear

Nonlinear iteration limit = 250

Diverging nonlinear iteration limit = 10

Number of nonlinear iterations performed = 30

Residual tolerance = 0.0000000001

Sum of Residuals = -1.50517936033794

Average Residual = -0.136834487303449

Residual Sum of Squares (Absolute) = 5.50151836390596

Residual Sum of Squares (Relative) = 5.50151836390596

Standard Error of the Estimate = 0.82927064067664

Coefficient of Multiple Determination (R^2) = 0.9888569252

Proportion of Variance Explained = 98.88569252%

Adjusted coefficient of multiple determination (R_a^2) = 0.9860711565

Durbin-Watson statistic = 1.65202652103822

Regression Variable Results

| Variable | Value | Standard Error | t-ratio | Prob(t) |
|----------|--------------|----------------|--------------|---------|
| a | 11,43816795 | 2,284784347 | 5,006235255 | 0.00104 |
| b | 0,539249335 | 0,122094802 | 4,416644501 | 0.00224 |
| c | -4,710985649 | 1,059122852 | -4,448006803 | 0.00214 |

90% Confidence Intervals

| Variable | Value | 90% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| a | 11,43816795 | 4,248556493 | 7,189611454 | 15,68672444 |
| b | 0,539249335 | 0,227035284 | 0,312214051 | 0,766284619 |
| c | -4,710985649 | 1,969438943 | -6,680424592 | -2,741546706 |

95% Confidence Intervals

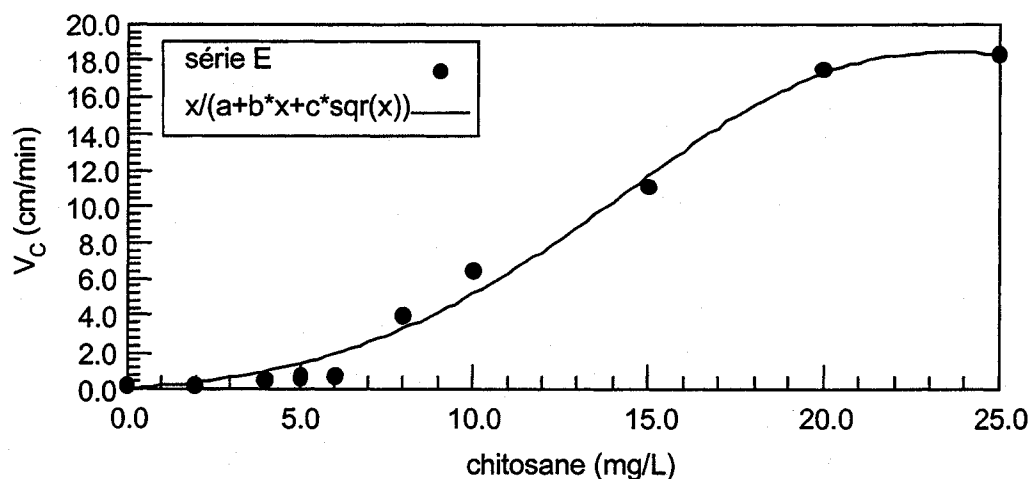
| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| a | 11,43816795 | 5,268712704 | 6,169455243 | 16,70688065 |
| b | 0,539249335 | 0,281550613 | 0,257698722 | 0,820799948 |
| c | -4,710985649 | 2,442337296 | -7,153322945 | -2,268648353 |

99% Confidence Intervals

| Variable | Value | 99% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| a | 11,43816795 | 7,666365397 | 3,771802549 | 19,10453334 |
| b | 0,539249335 | 0,409676898 | 0,129572437 | 0,948926233 |
| c | -4,710985649 | 3,553780817 | -8,264766466 | -1,157204833 |

Variance Analysis

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob(F) |
|------------|----|----------------|-------------|-------------|---------|
| Regression | 2 | 488,2148453 | 244,1074226 | 354,9673475 | 0 |
| Error | 8 | 5,501518364 | 0,687689795 | | |
| Total | 10 | 493,7163636 | | | |



Equation ID: $a*\exp(-(x-b)^2)/(2*c^2)$

Sum of Residuals = -1.64720765525988

Average Residual = -0.149746150478171

Residual Sum of Squares (Absolute) = 6.34484117507106

Residual Sum of Squares (Relative) = 6.34484117507106

Standard Error of the Estimate = 0.890564510231506

Coefficient of Multiple Determination (R²) = 0.9871488133

Proportion of Variance Explained = 98.71488133%

Adjusted coefficient of multiple determination (Ra²) = 0.9839360166

Durbin-Watson statistic = 1.40940793060575

Regression Variable Results

| Variable | Value | Standard Error | t-ratio | Prob(t) |
|----------|------------|----------------|-------------|---------|
| a | 18,887576 | 0,665161597 | 28,39546979 | 0.0 |
| b | 22,8032759 | 0,741646162 | 30,74684 | 0.0 |
| c | 7,81291926 | 0,536509619 | 14,56249614 | 0.0 |

90% Confidence Intervals

| Variable | Value | 90% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|------------|-------------|-------------|-------------|
| a | 18,887576 | 1,23686799 | 17,65070804 | 20,124444 |
| b | 22,8032759 | 1,379091039 | 21,42418485 | 24,1823669 |
| c | 7,81291926 | 0,997639636 | 6,815279619 | 8,81055889 |

95% Confidence Intervals

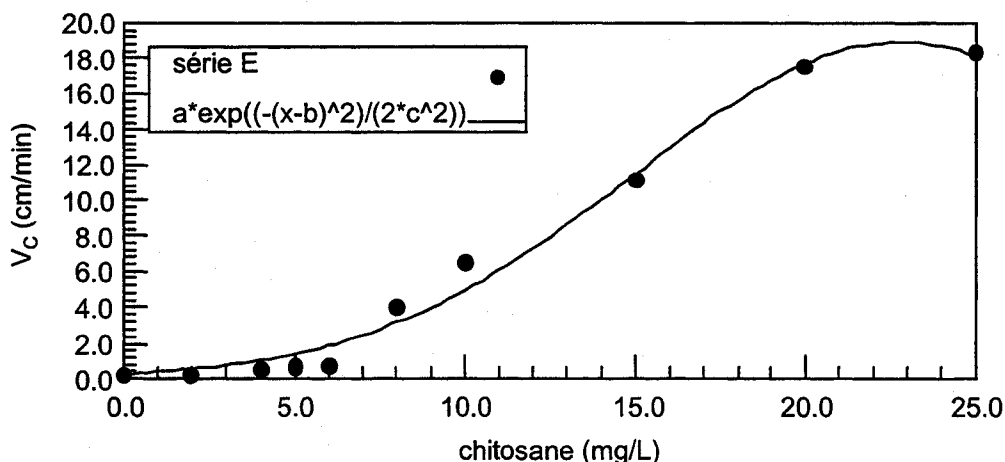
| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|------------|-------------|-------------|-------------|
| a | 18,887576 | 1,533862643 | 17,35371339 | 20,4214387 |
| b | 22,8032759 | 1,71023605 | 21,09303984 | 24,5135119 |
| c | 7,81291926 | 1,237191181 | 6,575728074 | 9,05011044 |

99% Confidence Intervals

| Variable | Value | 99% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|------------|-------------|-------------|-------------|
| a | 18,887576 | 2,231883223 | 16,65569281 | 21,1194593 |
| b | 22,8032759 | 2,488519533 | 20,31475636 | 25,2917954 |
| c | 7,81291926 | 1,800204375 | 6,01271488 | 9,61312363 |

Variance Analysis

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob(F) |
|------------|----|----------------|-------------|------------|---------|
| Regression | 2 | 487,3715225 | 243,6857612 | 307,255302 | 0 |
| Error | 8 | 6,344841175 | 0,793105147 | | |
| Total | 10 | 493,7163636 | | | |



Equation ID: $\exp(a+b \cdot x+c \cdot x^2)$

Sum of Residuals = -1.64720728875615

Average Residual = -0.14974611715965

Residual Sum of Squares (Absolute) = 6.34484117507107

Residual Sum of Squares (Relative) = 6.34484117507107

Standard Error of the Estimate = 0.890564510231507

Coefficient of Multiple Determination (R^2) = 0.9871488133

Proportion of Variance Explained = 98.71488133%

Adjusted coefficient of multiple determination (R_a^2) = 0.9839360166

Durbin-Watson statistic = 1.40940799051179

Regression Variable Results

| Variable | Value | Standard Error | t-ratio | Prob(t) |
|----------|--------------|----------------|--------------|---------|
| a | -1,320791657 | 0,377367633 | -3,500013093 | 0.00808 |
| b | 0,373568785 | 0,041809029 | 8,935122214 | 0.00002 |
| c | -0,008191121 | 0,001124961 | -7,281248146 | 0.00009 |

90% Confidence Intervals

| Variable | Value | 90% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| a | -1,320791657 | 0,701715114 | -2,022506772 | -0,619076543 |
| b | 0,373568785 | 0,07774389 | 0,295824895 | 0,451312674 |
| c | -0,008191121 | 0,002091865 | -0,010282986 | -0,006099256 |

95% Confidence Intervals

| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| a | -1,320791657 | 0,870209762 | -2,19100142 | -0,450581895 |
| b | 0,373568785 | 0,096411621 | 0,277157164 | 0,469980406 |
| c | -0,008191121 | 0,00259416 | -0,010785281 | -0,005596961 |

99% Confidence Intervals

| Variable | Value | 99% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| a | -1,320791657 | 1,266219357 | -2,587011014 | -0,054572301 |
| b | 0,373568785 | 0,140286016 | 0,233282768 | 0,513854801 |
| c | -0,008191121 | 0,003774695 | -0,011965816 | -0,004416427 |

Variance Analysis

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob(F) |
|------------|----|----------------|-------------|-------------|---------|
| Regression | 2 | 487,3715225 | 243,6857612 | 307,2553018 | 0 |
| Error | 8 | 6,344841175 | 0,793105147 | | |
| Total | 10 | 493,7163636 | | | |

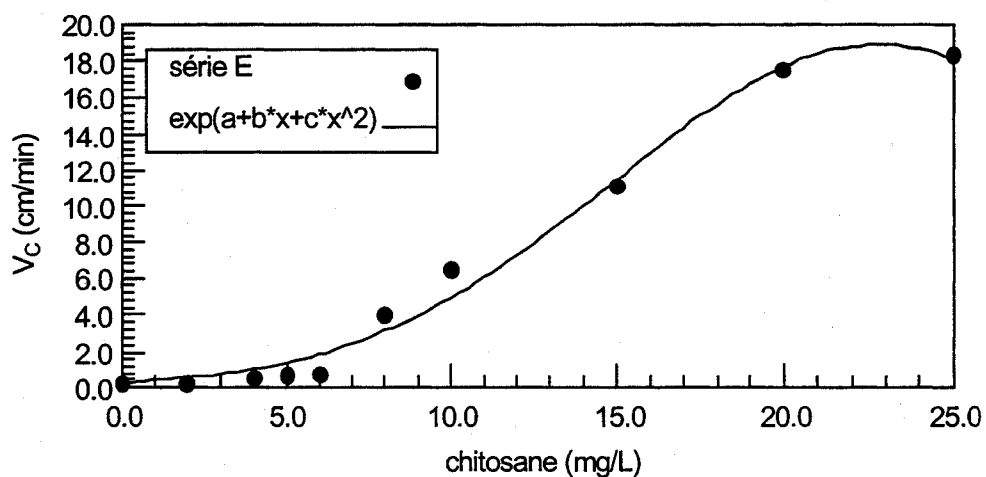


TABLEAU D.7 : SOMMAIRE DES RÉSULTATS DE L'ANALYSE DE RÉGRESSION NONLINÉAIRE EFFECTUÉE PAR DATAFIT 6.1 EN RAISON D'ÉTABLIR LA RÉLATION ENTRE L'IVB_c ET LA CONCENTRATION DU CHITOSANE POUR LA BOUE EN ÉTAT DE GONFLEMENT- SÉRIE C.

| Rank | Model | StdError | Residual Sum | Residual Avg. | RSS | R^2 | Ra^2 |
|------|---------------------------|----------|--------------|---------------|-------------|--------|--------|
| 1 | 7th order polynomial | 3,5355 | -2,75645E-09 | -3,06272E-10 | 12,5000 | 1,0000 | 0,9998 |
| 2 | 6th order polynomial | 29,7972 | -2,23185E-07 | -2,47983E-08 | 1775,7507 | 0,9965 | 0,9859 |
| 3 | 5th order polynomial | 60,3572 | 3,96767E-11 | 4,40852E-12 | 10928,9632 | 0,9783 | 0,9421 |
| 4 | 4th order polynomial | 67,8216 | 1,12266E-10 | 1,2474E-11 | 18399,1002 | 0,9634 | 0,9268 |
| 5 | $a*x^3+b*x^2+c*x+d$ | 60,8136 | 1,3074E-12 | 1,45267E-13 | 18491,4736 | 0,9632 | 0,9412 |
| 6 | $\exp(a+b*x+c*x^2)$ | 66,0185 | -14,2734183 | -1,585935367 | 26150,6936 | 0,9480 | 0,9307 |
| 7 | $a/(1+b*x+c*x^2)$ | 68,3271 | 156,0326853 | 17,33696503 | 28011,5461 | 0,9443 | 0,9257 |
| 8 | $1/(a+b*x+c*x^2)$ | 68,3271 | 156,0326554 | 17,33696171 | 28011,5461 | 0,9443 | 0,9257 |
| 9 | $a*x^2+b*x+c$ | 78,3780 | 5,68434E-14 | 6,31594E-15 | 36858,6531 | 0,9267 | 0,9023 |
| 10 | $a*b^x$ | 77,1040 | 149,6369108 | 16,62632343 | 41615,1347 | 0,9173 | 0,9054 |
| 11 | $a*\exp(b*x)$ | 77,1040 | 149,6369089 | 16,62632321 | 41615,1347 | 0,9173 | 0,9054 |
| 12 | $\exp(a+b*x)$ | 77,1040 | 149,636905 | 16,62632277 | 41615,1347 | 0,9173 | 0,9054 |
| 13 | $1/(a+b*x)$ | 79,1287 | -58,43600949 | -6,492889943 | 43829,4444 | 0,9129 | 0,9004 |
| 14 | $a/(1+b*x)$ | 79,1287 | -58,4360296 | -6,492892178 | 43829,4444 | 0,9129 | 0,9004 |
| 15 | $a*(1+x)^b$ | 104,5924 | -64,64985314 | -7,183317016 | 76576,9180 | 0,8478 | 0,8260 |
| 16 | $a*x+b$ | 174,5008 | -6,25278E-13 | -6,94753E-14 | 213153,7826 | 0,5762 | 0,5157 |
| 17 | $a*(x-b)$ | 174,5008 | -5,96856E-13 | -6,63173E-14 | 213153,7826 | 0,5762 | 0,5157 |
| 18 | $a+b*\cos(x)+c*\sin(x)$ | 281,5176 | 1,7053E-13 | 1,89478E-14 | 475512,8524 | 0,0546 | 0,0000 |
| 19 | $a\exp(-(x-b)^2)/(2c^2))$ | 289,5313 | 1,86931E-06 | 2,07702E-07 | 502970,2222 | 0,0000 | 0,0000 |
| 20 | $x/(a*x+b)$ | 301,2081 | 741,6168641 | 82,40187379 | 635084,3359 | 0,0000 | 0,0000 |
| 21 | $a*x/(b+x)$ | 301,2081 | 741,6168487 | 82,40187208 | 635084,3359 | 0,0000 | 0,0000 |
| 22 | $\log(a+b*x)$ | 339,9158 | 1688,449315 | 187,6054794 | 808799,2865 | 0,0000 | 0,0000 |
| 23 | $a/(1+ c*x^2)$ | 352,5037 | 2184 | 242,6666667 | 869812,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 24 | $1/(1+a*x)$ | 349,7269 | 2258,701652 | 250,9668502 | 978471,0254 | 0,0000 | 0,0000 |
| 25 | $x/(a+b*x+c*\sqrt{x})$ | 469,8097 | 2323,676932 | 258,1863258 | 1324326,87 | 0,0000 | 0,0000 |
| 26 | $1/(x+a)$ | 423,0177 | 2652,923241 | 294,769249 | 1431551,79 | 0,0000 | 0,0000 |
| 27 | $\exp(-a*x^2)$ | 426,2135 | 2798,257347 | 310,917483 | 1453263,66 | 0,0000 | 0,0000 |
| 28 | $a*\cos(x)+b*\sin(x)$ | 457,1189 | 2978,756304 | 330,9729226 | 1462704,06 | 0,0000 | 0,0000 |
| 29 | $\exp(x-a)$ | 427,9541 | 2843,294594 | 315,9216215 | 1465157,76 | 0,0000 | 0,0000 |
| 30 | $\cos(x+a)$ | 429,9965 | 2965,23857 | 329,4709522 | 1479175,84 | 0,0000 | 0,0000 |
| 31 | $\sin(x+a)$ | 429,9965 | 2965,238571 | 329,4709523 | 1479175,84 | 0,0000 | 0,0000 |
| 32 | $x/(a+b*x-c*x^2)$ | 496,6174 | 2965 | 329,4444444 | 1479773,00 | 0,0000 | 0,0000 |

MODÈLES PLAUSIBLES POUR DÉCRIRE LA RELATION ENTRE L'IVB_C ET LA CONCENTRATION DU CHITOSANE POUR LA BOUE EN ÉTAT DE GONFLEMENT – SÉRIE C.

Equation ID: $\exp(a+b*x+c*x^2)$

Number of observations = 9

Number of missing observations = 0

Solver type: Nonlinear

Nonlinear iteration limit = 250

Diverging nonlinear iteration limit = 10

Number of nonlinear iterations performed = 5

Residual tolerance = 0.0000000001

Sum of Residuals = -14.273418299369

Average Residual = -1.58593536659655

Residual Sum of Squares (Absolute) = 26150.6936426719

Residual Sum of Squares (Relative) = 26150.6936426719

Standard Error of the Estimate = 66.0185499723019

Coefficient of Multiple Determination (R^2) = 0.9480074714

Proportion of Variance Explained = 94.80074714%

Adjusted coefficient of multiple determination (R_a^2) = 0.9306766286

Durbin-Watson statistic = 2.78270170937918

Regression Variable Results

| Variable | Value | Standard Error | t-ratio | Prob(t) |
|----------|--------------|----------------|--------------|---------|
| a | 6.728359138 | 0.07239199 | 92.9434205 | 0.0 |
| b | -0.200594342 | 0.029985053 | -6.689811088 | 0.00054 |
| c | 0.004890614 | 0.001589883 | 3.07608337 | 0.02177 |

90% Confidence Intervals

| Variable | Value | 90% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| a | 6.728359138 | 0.140672114 | 6.587687024 | 6.869031253 |
| b | -0.200594342 | 0.058266955 | -0.258861297 | -0.142327386 |
| c | 0.004890614 | 0.003089461 | 0.001801152 | 0.007980075 |

95% Confidence Intervals

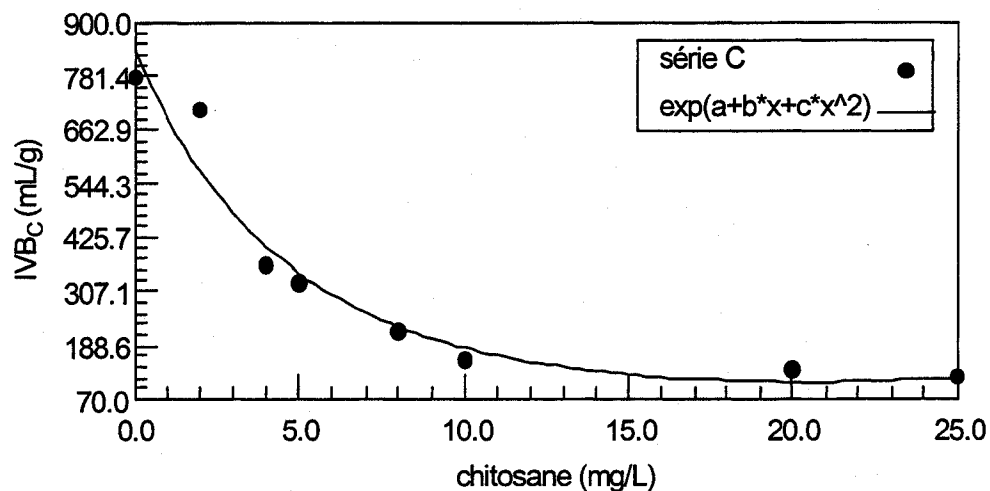
| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| a | 6.728359138 | 0.17713596 | 6.551223179 | 6.905495098 |
| b | -0.200594342 | 0.073370427 | -0.273964769 | -0.127223915 |
| c | 0.004890614 | 0.003890286 | 0.001000328 | 0.008780899 |

99% Confidence Intervals

| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| a | 6.728359138 | 0.268386063 | 6.459973076 | 6.996745201 |
| b | -0.200594342 | 0.111166586 | -0.311760928 | -0.089427755 |
| c | 0.004890614 | 0.005894333 | -0.00100372 | 0.010784947 |

Variance Analysis

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob(F) |
|------------|----|----------------|-------------|-------------|---------|
| Regression | 2 | 476819.5286 | 238409.7643 | 54.70059821 | 0.00014 |
| Error | 6 | 26150.69364 | 4358.44894 | | |
| Total | 8 | 502970.2222 | | | |



Equation ID: $a/(1+b*x+c*x^2)$

Sum of Residuals = 156.032685262878

Average Residual = 17.3369650292086

Residual Sum of Squares (Absolute) = 28011.5460523365

Residual Sum of Squares (Relative) = 28011.5460523365

Standard Error of the Estimate = 68.327088396351

Coefficient of Multiple Determination (R^2) = 0.9443077446

Proportion of Variance Explained = 94.43077446%

Adjusted coefficient of multiple determination (R_a^2) = 0.9257436595

Durbin-Watson statistic = 1.46622826295099

Regression Variable

Results

| Variable | Value | Standard Error | t-ratio | Prob(t) |
|----------|-------------|----------------|-------------|---------|
| a | 802.549361 | 67.5171652 | 11.88659741 | 0.00002 |
| b | 0.05836178 | 0.099136218 | 0.588702909 | 0.57753 |
| c | 0.038038124 | 0.018311976 | 2.077226636 | 0.08305 |

90% Confidence Intervals

| Variable | Value | 90% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| a | 802.549361 | 131.1993554 | 671.3500056 | 933.7487165 |
| b | 0.05836178 | 0.1926415 | -0.13427972 | 0.25100328 |
| c | 0.038038124 | 0.035583832 | 0.002454293 | 0.073621956 |

95% Confidence Intervals

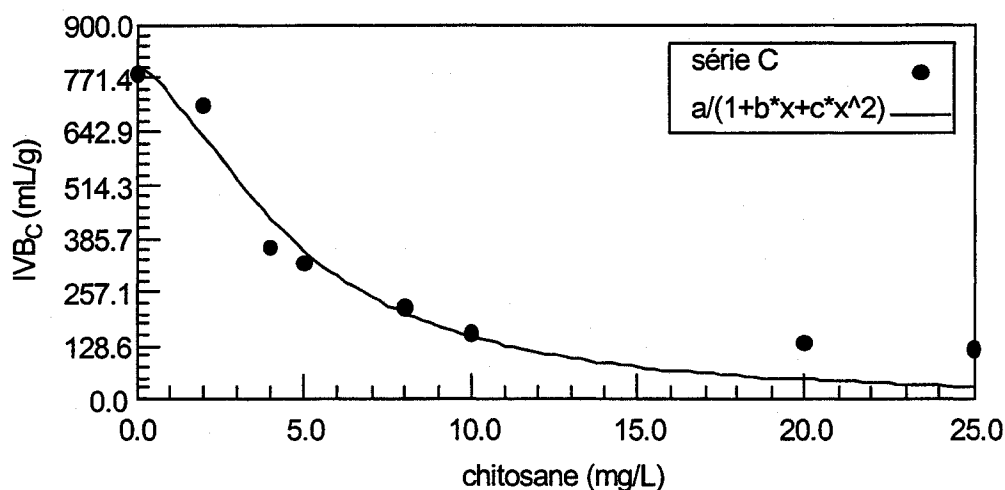
| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 802.549361 | 165.2077515 | 637.3416095 | 967.7571126 |
| b | 0.05836178 | 0.242576413 | -0.184214633 | 0.300938193 |
| c | 0.038038124 | 0.044807574 | -0.00676945 | 0.082845699 |

99% Confidence Intervals

| Variable | Value | 99% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 802.549361 | 250.3131383 | 552.2362228 | 1052.862499 |
| b | 0.05836178 | 0.367537616 | -0.309175836 | 0.425899397 |
| c | 0.038038124 | 0.06788982 | -0.029851696 | 0.105927944 |

Variance Analysis

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob(F) |
|------------|----|----------------|-------------|-------------|---------|
| Regression | 2 | 474958.6762 | 237479.3381 | 50.86745394 | 0.00017 |
| Error | 6 | 28011.54605 | 4668.591009 | | |
| Total | 8 | 502970.2222 | | | |



Equation ID: $1/(a+b*x+c*x^2)$

Sum of Residuals = 156.032655396184

Average Residual = 17.3369617106871

Residual Sum of Squares (Absolute) = 28011.5460523391

Residual Sum of Squares (Relative) = 28011.5460523391

Standard Error of the Estimate = 68.327088396354

Coefficient of Multiple Determination (R^2) = 0.9443077446

Proportion of Variance Explained = 94.43077446%

Adjusted coefficient of multiple determination (R_a^2) = 0.9257436595

Durbin-Watson statistic = 1.466228480369

Regression Variable Results

| Variable | Value | Standard Error | t-ratio | Prob(t) |
|----------|-------------|----------------|-------------|---------|
| a | 0.001246029 | 0.000104826 | 11.88659745 | 0.00002 |
| b | 7.27205E-05 | 0.000120528 | 0.603348536 | 0.56837 |
| c | 4.73966E-05 | 2.34892E-05 | 2.017807501 | 0.09017 |

90% Confidence Intervals

| Variable | Value | 90% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| a | 0.001246029 | 0.000203699 | 0.001042331 | 0.001449728 |
| b | 7.27205E-05 | 0.00023421 | -0.00016149 | 0.000306931 |
| c | 4.73966E-05 | 4.56441E-05 | 1.75247E-06 | 9.30408E-05 |

95% Confidence Intervals

| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| a | 0.001246029 | 0.0002565 | 0.00098953 | 0.001502529 |
| b | 7.27205E-05 | 0.00029492 | -0.0002222 | 0.000367641 |
| c | 4.73966E-05 | 5.74756E-05 | -1.0079E-05 | 0.000104872 |

99% Confidence Intervals

| Variable | Value | 99% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 0.001246029 | 0.000388633 | 0.000857396 | 0.001634663 |
| b | 7.27205E-05 | 0.000446846 | -0.000374126 | 0.000519567 |
| c | 4.73966E-05 | 8.70837E-05 | -3.96871E-05 | 0.00013448 |

Variance Analysis

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob(F) |
|------------|----|----------------|-------------|-------------|---------|
| Regression | 2 | 474958.6762 | 237479.3381 | 50.86745394 | 0.00017 |
| Error | 6 | 28011.54605 | 4668.591009 | | |
| Total | 8 | 502970.2222 | | | |

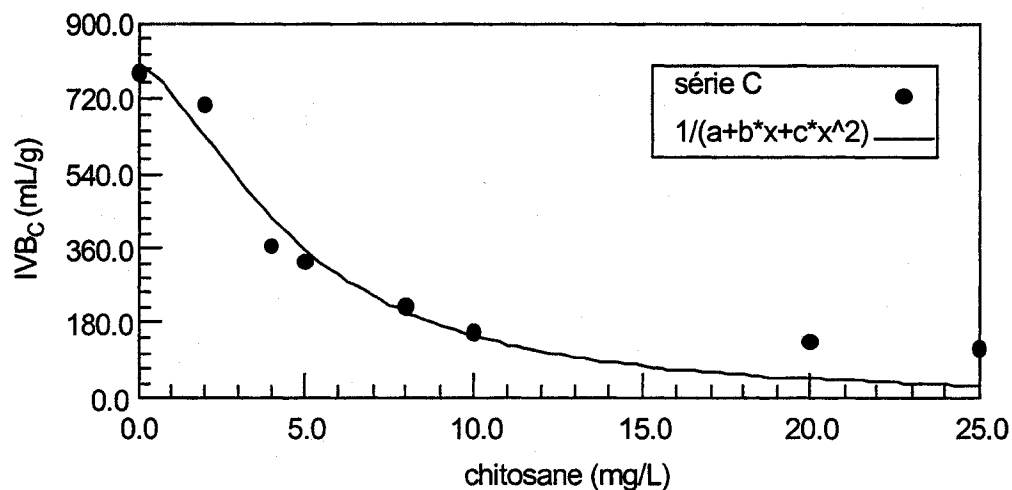


TABLEAU D.8: SOMMAIRE DES RÉSULTATS DE L'ANALYSE DE LA RÉGRESSION NONLINÉAIRE EFFECTUÉE PAR DATAFIT 6.1 EN RAISON D'ÉTABLIR LA RELATION ENTRE L'IVB_C ET LA CONCENTRATION DU CHITOSANE POUR LA BOUE EN ÉTAT DE GONFLEMENT- SÉRIE E.

| Rank | Model | StdError | Residual Sum | Residual Avg. | RSS | R^2 | Ra^2 |
|------|----------------------------|----------|--------------|---------------|------------|--------|--------|
| 1 | 9th order polynomial | 4,9497 | 5,72114E-08 | 5,20103E-09 | 24,5000 | 0,9996 | 0,9964 |
| 2 | 8th order polynomial | 10,3768 | -2,35298E-09 | -2,13907E-10 | 215,3556 | 0,9968 | 0,9841 |
| 3 | 7th order polynomial | 12,0480 | 9,4866E-10 | 8,62418E-11 | 435,4660 | 0,9936 | 0,9785 |
| 4 | 6th order polynomial | 11,0006 | -5,76705E-10 | -5,24277E-11 | 484,0487 | 0,9928 | 0,9821 |
| 5 | 5th order polynomial | 13,2910 | -1,51488E-11 | -1,37716E-12 | 883,2497 | 0,9869 | 0,9739 |
| 6 | 4th order polynomial | 18,5491 | -1,21872E-10 | -1,10793E-11 | 2064,4160 | 0,9695 | 0,9491 |
| 7 | $a*x^3+b*x^2+c*x+d$ | 19,6999 | 6,82121E-13 | 6,2011E-14 | 2716,6064 | 0,9598 | 0,9426 |
| 8 | $\exp(a+b*x+c*x^2)$ | 20,9535 | -2,541939671 | -0,231085425 | 3512,3981 | 0,9480 | 0,9351 |
| 9 | $a*x^2+b*x+c$ | 21,8538 | 1,42109E-13 | 1,2919E-14 | 3820,7080 | 0,9435 | 0,9293 |
| 10 | $1/(a+b*x+c*x^2)$ | 25,2562 | -2,406231483 | -0,218748317 | 5103,0210 | 0,9245 | 0,9056 |
| 11 | $a/(1+b*x+c*x^2)$ | 25,2562 | -2,406237538 | -0,218748867 | 5103,0210 | 0,9245 | 0,9056 |
| 12 | $1/(a+b*x)$ | 24,0018 | 4,389733977 | 0,399066725 | 5184,7853 | 0,9233 | 0,9148 |
| 13 | $a/(1+b*x)$ | 24,0018 | 4,389734942 | 0,399066813 | 5184,7853 | 0,9233 | 0,9148 |
| 14 | $\exp(a+b*x)$ | 32,4393 | 32,81947627 | 2,983588752 | 9470,7842 | 0,8599 | 0,8443 |
| 15 | $a*b^x$ | 32,4393 | 32,81947687 | 2,983588806 | 9470,7842 | 0,8599 | 0,8443 |
| 16 | $a*\exp(b*x)$ | 32,4393 | 32,81947653 | 2,983588775 | 9470,7842 | 0,8599 | 0,8443 |
| 17 | $a*(1+x)^b$ | 35,6350 | -14,19692632 | -1,290629666 | 11428,6555 | 0,8309 | 0,8121 |
| 18 | $a*x+b$ | 47,9089 | -3,97904E-13 | -3,61731E-14 | 20657,3935 | 0,6944 | 0,6605 |
| 19 | $a*(x-b)$ | 47,9089 | 1,77636E-13 | 1,61487E-14 | 20657,3935 | 0,6944 | 0,6605 |
| 20 | $a+b*\cos(x)+c*\sin(x)$ | 90,6630 | 4,54747E-13 | 4,13407E-14 | 65758,2946 | 0,0272 | 0,0000 |
| 21 | $a*\exp((-x-b)^2/(2*c^2))$ | 91,9231 | 0,012069897 | 0,001097263 | 67598,9058 | 0,0000 | 0,0000 |
| 22 | $\log(x-a)$ | 150,8207 | -1326,110615 | -120,5555104 | 227468,851 | 0,0000 | 0,0000 |
| 23 | $a*b*x/(1+b*x)$ | 160,4995 | 1201,194124 | 109,1994658 | 231840,742 | 0,0000 | 0,0000 |
| 24 | $x/(a+b*x+c*\sqrt{x})$ | 183,6710 | 912,7692903 | 82,97902639 | 269880,243 | 0,0000 | 0,0000 |
| 25 | $x/(a*x+b)$ | 182,7315 | 1159,282465 | 105,389315 | 300517,173 | 0,0000 | 0,0000 |
| 26 | $\exp(-a*x^2)$ | 212,7365 | 1956,620594 | 177,8745995 | 452568,315 | 0,0000 | 0,0000 |
| 27 | $1/(1+a*x)$ | 213,5353 | 1989,141611 | 180,8310555 | 455973,217 | 0,0000 | 0,0000 |
| 28 | $a*\cos(x)+b*\sin(x)$ | 225,3440 | 2051,696033 | 186,5178211 | 457019,115 | 0,0000 | 0,0000 |
| 29 | $a*x/(b+x)$ | 226,0395 | 2000,329359 | 181,8481235 | 459844,690 | 0,0000 | 0,0000 |
| 30 | $\exp(x-a)$ | 214,9638 | 2005,541079 | 182,3219162 | 462094,152 | 0,0000 | 0,0000 |
| 31 | $\cos(x+a)$ | 217,4594 | 2111,905322 | 191,9913929 | 472885,954 | 0,0000 | 0,0000 |
| 32 | $\sin(x+a)$ | 217,4594 | 2111,905324 | 191,9913931 | 472885,954 | 0,0000 | 0,0000 |
| 33 | $1/(x+a)$ | 217,5976 | 2113 | 192,0909091 | 473487,000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 34 | $x/(a+b*x-c*x^2)$ | 243,2815 | 2113 | 192,0909091 | 473487,000 | 0,0000 | 0,0000 |

MODÈLES PLAUSIBLES POUR DÉCRIRE LA RELATION ENTRE L'IVB_c ET LA CONCENTRATION DU CHITOSANE POUR LA BOUE EN ÉTAT DE GONFLEMENT – SÉRIE E.

DataFit version 6.1.10

Equation ID: $\exp(a+b*x+c*x^2)$

Number of observations = 10

Number of missing observations = 0

Solver type: Nonlinear

Nonlinear iteration limit = 250

Diverging nonlinear iteration limit = 10

Number of nonlinear iterations performed = 4

Residual tolerance = 0.000000001

Sum of Residuals = -2.54193967072855

Average Residual = -0.231085424611687

Residual Sum of Squares (Absolute) = 3512.39812648986

Residual Sum of Squares (Relative) = 3512.39812648986

Standard Error of the Estimate = 20.9535144023916

Coefficient of Multiple Determination (R²) = 0.9480406093

Proportion of Variance Explained = 94.80406093%

Adjusted coefficient of multiple determination (Ra²) = 0.9350507617

Durbin-Watson statistic = 2.12225086970522

Regression Variable Results

| Variable | Value | Standard Error | t-ratio | Prob(t) |
|----------|--------------|----------------|--------------|---------|
| a | 5.878189119 | 0.050630194 | 116.100467 | 0.0 |
| b | -0.119662021 | 0.015119947 | -7.914182461 | 0.0001 |
| c | 0.002841229 | 0.000695234 | 4.086724831 | 0.00465 |

90% Confidence Intervals

| Variable | Value | 90% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| a | 5.878189119 | 0.095923965 | 5.782265155 | 5.974113084 |
| b | -0.119662021 | 0.028646252 | -0.148308273 | -0.091015769 |
| c | 0.002841229 | 0.00131719 | 0.001524039 | 0.004158419 |

95% Confidence Intervals

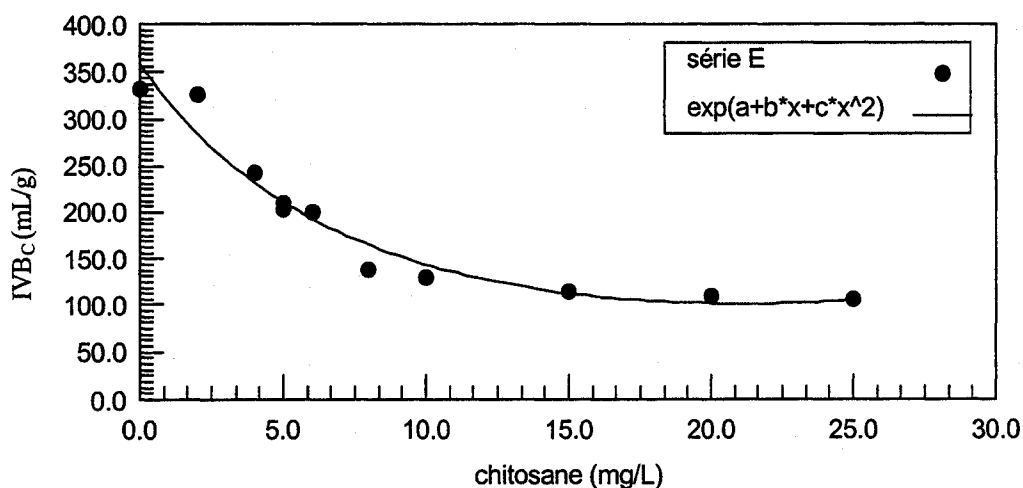
| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| a | 5.878189119 | 0.119720156 | 5.758468964 | 5.997909275 |
| b | -0.119662021 | 0.035752627 | -0.155414649 | -0.083909394 |
| c | 0.002841229 | 0.00164395 | 0.001197279 | 0.004485179 |

99% Confidence Intervals

| Variable | Value | 99% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| a | 5.878189119 | 0.177180362 | 5.701008757 | 6.055369482 |
| b | -0.119662021 | 0.052912255 | -0.172574277 | -0.066749766 |
| c | 0.002841229 | 0.002432971 | 0.000408259 | 0.0052742 |

Variance Analysis

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob(F) |
|------------|----|----------------|-------------|-------------|---------|
| Regression | 2 | 64086.51096 | 32043.25548 | 63.86029724 | 0.00003 |
| Error | 7 | 3512.398126 | 501.7711609 | | |
| Total | 9 | 67598.90909 | | | |



Equation ID: $1/(a+b*x+c*x^2)$

Sum of Residuals = -2.40623148312294
Average Residual = -0.21874831664754
Residual Sum of Squares (Absolute) = 5103.02103267869
Residual Sum of Squares (Relative) = 5103.02103267869
Standard Error of the Estimate = 25.2562394090022
Coefficient of Multiple Determination (R^2) = 0.924510305
Proportion of Variance Explained = 92.4510305%
Adjusted coefficient of multiple determination (R_a^2) = 0.9056378812
Durbin-Watson statistic = 1.74030857799636

Regression Variable Results

| Variable | Value | Standard Error | t-ratio | Prob(t) |
|----------|--------------|----------------|--------------|---------|
| a | 0.002816945 | 0.000188211 | 14.9669367 | 0.0 |
| b | 0.000397642 | 8.37738E-05 | 4.746612574 | 0.00145 |
| c | -2.45748E-06 | 5.92682E-06 | -0.414636913 | 0.6893 |

90% Confidence Intervals

| Variable | Value | 90% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 0.002816945 | 0.000349979 | 0.002466967 | 0.003166924 |
| b | 0.000397642 | 0.000155777 | 0.000241864 | 0.000553419 |
| c | -2.45748E-06 | 1.10209E-05 | -1.34784E-05 | 8.56344E-06 |

95% Confidence Intervals

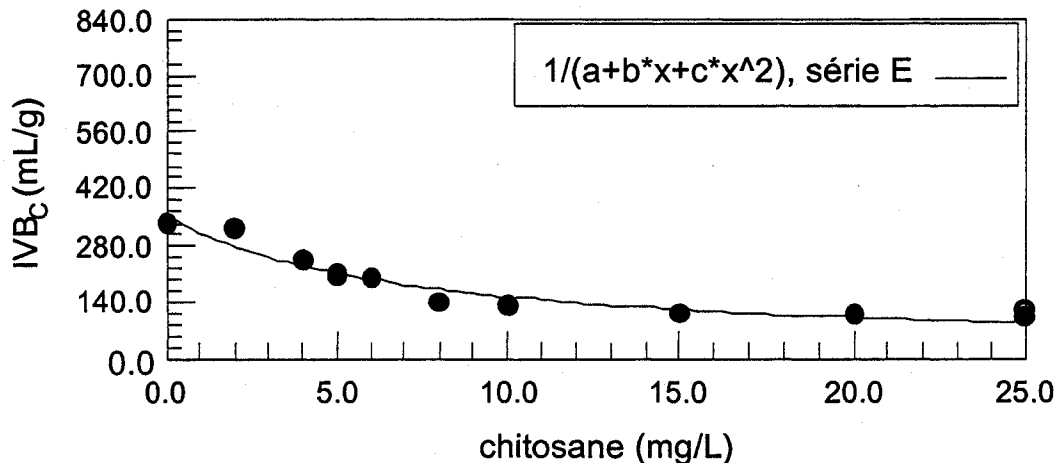
| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 0.002816945 | 0.000434015 | 0.00238293 | 0.00325096 |
| b | 0.000397642 | 0.000193182 | 0.000204459 | 0.000590824 |
| c | -2.45748E-06 | 1.36672E-05 | -1.61247E-05 | 1.12098E-05 |

99% Confidence Intervals

| Variable | Value | 99% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 0.002816945 | 0.000631524 | 0.002185421 | 0.003448469 |
| b | 0.000397642 | 0.000281095 | 0.000116547 | 0.000678737 |
| c | -2.45748E-06 | 1.98868E-05 | -2.23443E-05 | 1.74294E-05 |

Variance Analysis

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob(F) |
|------------|----|----------------|-------------|-------------|---------|
| Regression | 2 | 62495.88806 | 31247.94403 | 48.98736467 | 0.00003 |
| Error | 8 | 5103.021033 | 637.8776291 | | |
| Total | 10 | 67598.90909 | | | |



Equation ID: $a/(1+b*x+c*x^2)$

Sum of Residuals = -2.40623753787433
 Average Residual = -0.218748867079485
 Residual Sum of Squares (Absolute) = 5103.02103267881
 Residual Sum of Squares (Relative) = 5103.02103267881
 Standard Error of the Estimate = 25.2562394090025
 Coefficient of Multiple Determination (R^2) = 0.924510305
 Proportion of Variance Explained = 92.4510305%
 Adjusted coefficient of multiple determination (R_a^2) = 0.9056378812
 Durbin-Watson statistic = 1.74030859391639

Regression Variable Results

| Variable | Value | Standard Error | t-ratio | Prob(t) |
|----------|--------------|----------------|-------------|---------|
| a | 354.9944669 | 23.71857876 | 14.9669367 | 0.0 |
| b | 0.141160688 | 0.03626206 | 3.892792899 | 0.00459 |
| c | -0.000872391 | 0.002126393 | -0.41026816 | 0.69238 |

90% Confidence Intervals

| Variable | Value | 90% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 354.9944669 | 44.10469721 | 310.8897696 | 399.0991641 |
| b | 0.141160688 | 0.0674293 | 0.073731388 | 0.208589988 |
| c | -0.000872391 | 0.003954028 | -0.004826419 | 0.003081636 |

95% Confidence Intervals

| Variable | Value | 95% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 354.9944669 | 54.69504263 | 300.2994242 | 409.6895095 |
| b | 0.141160688 | 0.08362031 | 0.057540379 | 0.224780998 |
| c | -0.000872391 | 0.004903462 | -0.005775854 | 0.004031071 |

99% Confidence Intervals

| Variable | Value | 99% (+/-) | Lower Limit | Upper Limit |
|----------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| a | 354.9944669 | 79.58531919 | 275.4091477 | 434.579786 |
| b | 0.141160688 | 0.121673715 | 0.019486973 | 0.262834403 |
| c | -0.000872391 | 0.007134899 | -0.008007291 | 0.006262508 |

Variance Analysis

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Ratio | Prob(F) |
|------------|----|----------------|-------------|-------------|---------|
| Regression | 2 | 62495.88806 | 31247.94403 | 48.98736467 | 0.00003 |
| Error | 8 | 5103.021033 | 637.8776291 | | |
| Total | 10 | 67598.90909 | | | |

